

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Stabilitní analýza svahu Vrchovec

Vrchovec Slope Stability Analysis

Student:

Bc. Yvona Slámová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Barbara Luňáčková Ph.D

Ostrava 2019

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Yvona Slámová**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T035 Geotechnika
Téma: **Stabilitní analýza svahu Vrchovec**
Vrchovec Slope Stability Analysis

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Inženýrskogeologická a hydrogeologická charakteristika lokality.
2. Zhodnocení stávajícího stavu.
3. Analýza příčin nestability a predikce dalšího vývoje.
4. Vypracování návrhu stabilizačních opatření.
5. Závěrečná analýza výsledků řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Abramson, L. W. *Slope stability and stabilization methods*. John Wilwy and Sons, Inc., 1995. ISBN 0-471-10622-4
2. Atkinson, J. *The Mechanics of Soils and Foundations*. New York: Taylor & Francis, 2007. ISBN 978-0-415-36256-6.
3. Rozsypal, A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Jaga: Bratislava, 2001. ISBN 80-88905-44-3.
4. Stanek, J., Kořínek, R. *Mechanika zemin - Stabilita svahů*. ES VŠB, 1991. ISBN 80-7078-103-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Barbara Luňáčková, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2019

Datum odevzdání: 29.11.2019

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.“

V Ostravě, dne 29.11.2019

Bc. Yvona Slámová

Prohlašuji:

- Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 29.11.2019

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat mé vedoucí diplomové práce paní Ing. Barbaře Luňáčkové Ph.D. za odborné vedení, milý přístup, věcné rady a připomínky. Velké poděkování patří panu Ing. Luděkovi Kovářovi Ph.D. za poskytnuté informace, ochotu a vstřícnost. V neposlední řadě děkuji své rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

Anotace

SLÁMOVÁ, Yvona. *Stabilitní analýza svahu Vrchovec*. Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, fakulta stavební, 2019. 71 stran.

Diplomová práce se zabývá stabilitou svahu Vrchovec v Doubravě u Orlové. První část práce je věnovaná obecné problematice stability svahu, konkrétně klasifikaci svahových poruch, sanacím a geotechnickému monitoringu svahů. Jedna z kapitol je také věnována obecným metodám řešení stability svahů. Hlavním cílem této práce však bylo posoudit stabilitu konkrétního svahu, popsat možné příčiny nestability, zhodnotit a navrhnout metody stabilizace. K modelování byl použit program Plaxis, který využívá metodu konečných prvků. Návrhy různých řešení stabilizace svahu byly zhodnoceny v závěrečné analýze.

Klíčová slova:

sesuv, stabilita svahu, metoda konečných prvků

Annotation

SLÁMOVÁ, Yvona. *Stability analysis of slope Vrchovec*. Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, 2019. 71 pages.

The thesis deals with the stability of the Vrchovec slope in Doubrava near Orlová. The first part of the thesis is devoted to general problems of slope stability, namely classification of slope failures, remediation and geotechnical monitoring of slopes. One of the chapters is also devoted to general methods of solving slope stability. The main aim of this work, however, was to assess the stability of a particular slope, describe possible causes of instability, evaluate and propose methods of stabilization. For modeling was used Plaxis, which uses the finite element method. Proposals of various slope stabilization solutions were evaluated in the final analysis.

Key words:

Landslides, slope stability, finite element method

Obsah

1. Úvod	1
2. Sesuvy svahů	2
2.1. Příčiny svahových sesuvů.....	3
2.2. Klasifikace svahových pohybů.....	5
2.2.1. Ploužení	6
2.2.2. Sesouvání.....	7
2.2.3. Stékání	8
2.2.4. Řícení.....	9
2.3. Sanace a metody zvýšení stability.....	10
2.3.1. Úprava tvaru zemního tělesa	10
2.3.2. Odvodnění svahu	11
2.3.3. Opěrné konstrukce	13
2.3.4. Kotvení	14
2.3.5. Zpevňování zemin	15
2.3.6. Sanace rostlinným porostem.....	16
2.4. Geotechnický monitoring svahů.....	17
2.4.1. Sledování přetváření na povrchu i uvnitř.....	17
2.4.2. Měření vývoje smykových ploch.....	18
2.4.3. Monitoring výšky hladiny podzemní vody a pórových tlaků	19
3. Metody řešení stability svahů.....	21
3.1. Metody mezní rovnováhy.....	21
3.1.1. Soudržné zeminy	21
3.1.2. Nesoudržné zeminy	23
3.2. Numerické metody modelování	25
3.2.1. Metoda konečných diferencí.....	25
3.2.2. Metoda konečných prvků	25
3.2.3. Metoda hraničních prvků.....	26
3.2.4. Metoda oddělených elementů.....	26
3.3. Nomogramy a tabulky	26
4. Seznámení s lokalitou.....	27

4.1.	Základní údaje	27
4.2.	Dosavadní prozkoumanost	28
4.3.	Historie mapování	29
4.4.	Geomorfologické a geologické poměry	33
4.5.	Hydrologické a hydrogeologické poměry	34
4.6.	Klimatické poměry	35
4.7.	Seizmické poměry a poddolování	36
4.8.	Sesuvné projevy v minulosti	38
4.9.	Geotechnický monitoring	40
5.	Zhodnocení stávajícího stavu	41
5.1.	Rekognoskace terénu	42
6.	Analýza příčin nestability a predikce dalšího vývoje	45
6.1.	Výpočtový software Plaxis	45
6.2.	Tvorba modelu	46
6.3.	Výsledný model	49
6.3.1.	Požadované hodnoty stupně stability	49
6.3.2.	Dosažené výsledky	49
7.	Návrh stabilizačních opatření	53
7.1.	Odvodnění pomocí žeber a odvodňovacích vrtů	53
7.2.	Pilotová stěna s přítěžovací lavicí	55
7.3.	Nulová varianta	56
8.	Závěrečná analýza výsledků řešení	57
8.1.	Shrnutí návrhů sanací	57
8.2.	Využití geotechnického monitoringu	57
9.	Závěr	60
	Seznam literatury	61
	Seznam obrázků	64
	Seznam tabulek	66
	Seznam příloh	66
	Příloha č. 1	67

Seznam zkratek

HPV – hladina podzemní vody

MKP – metoda konečných prvků

ČR – Česká republika

Ca – chemická značka vápníku

Na – chemická značka sodíku

HCO₃ – chemická značka hydrogenuhličitanu

SO₄ – chemická značka síranu

ČGS – Česká geologická služba

Důl ČSA – Důl Československé armády

HOV – horizontální odvodňovací vrt

Seznam proměnných

a_{gR} – referenční špičkové zrychlení

u_i – pórový tlak na blok (kPa)

c_i, φ_i – efektivní hodnoty pevnostních parametrů zemin (kPa, °)

W_i – tíha bloku (kg/m³)

N_i – normálová síla na úseku smykové plochy (kN)

α_i – sklon úseku smykové plochy (°)

l_i – délka úseku smykové plochy (m)

ρ_n – objemová hmotnost zeminy (Mg.m⁻³)

ρ_{sat} – objemová hmotnost saturované zeminy (Mg.m⁻³)

E_{oed} – edometrický modul (MPa)

$\varphi_{ef,r}$ – reziduální úhel vnitřního tření (°)

$c_{ef,r}$ – reziduální soudržnost (kPa)

ν – Poissonovo číslo

1. Úvod

Tato diplomová práce se zabývá stabilitou svahu Vrchovec v Doubravě u Orlové, a s tím souvisejícím sesuvnými jevy. Sesuvné pohyby jsou nedílnou součástí přírodních procesů a významně se podílejí na utváření reliéfu krajiny. Vzhledem k jejich nebezpečnosti, kdy může dojít k poškození komunikací, zástavby, zemědělské půdy či ohrožení života člověka, jsou tyto pohyby nežádoucí a je nutné je omezit.

První část práce je věnována obecné problematice stability svahů, konkrétně příčinám a klasifikaci svahových pohybů, sanacím a geotechnickému monitoringu svahů. Jedna z kapitol je také věnována obecným metodám řešení stability svahů. Posouzení stability svahu, včetně návrhu vhodného sanačního opatření je nedílnou součástí, jak pro prevenci před vznikem nových svahových jevů, tak i pro stabilizaci těch aktivních.

Hlavní součástí této práce je detailní analýza zájmové oblasti, která zahrnuje přesnou lokalizaci místa, vrtnou prozkoumanost, geologické, geomorfologické, hydrologické a hydrogeologické poměry. V úvahu jsou brány i klimatické a seizmické podmínky včetně poddolování, které výrazně ovlivňuje řešený svah. Z terénní prohlídky a důkladného prostudování archivních záznamů, byl vytvořen geologický řez, včetně matematického modelu. K analýze je využita metoda konečných prvků pomocí výpočtového softwaru Plaxis 2D. Výsledky jsou prezentovány formou dosaženého stupně stability. Při výpočtu je uvažována různá výška hladiny podzemní vody a na základě výsledků, jsou stanoveny návrhy stabilizačních opatření.

V závěru práce jsou všechny dosažené výsledky shrnuty a metody sanačních opatření porovnány.

2. Sesuvy svahů

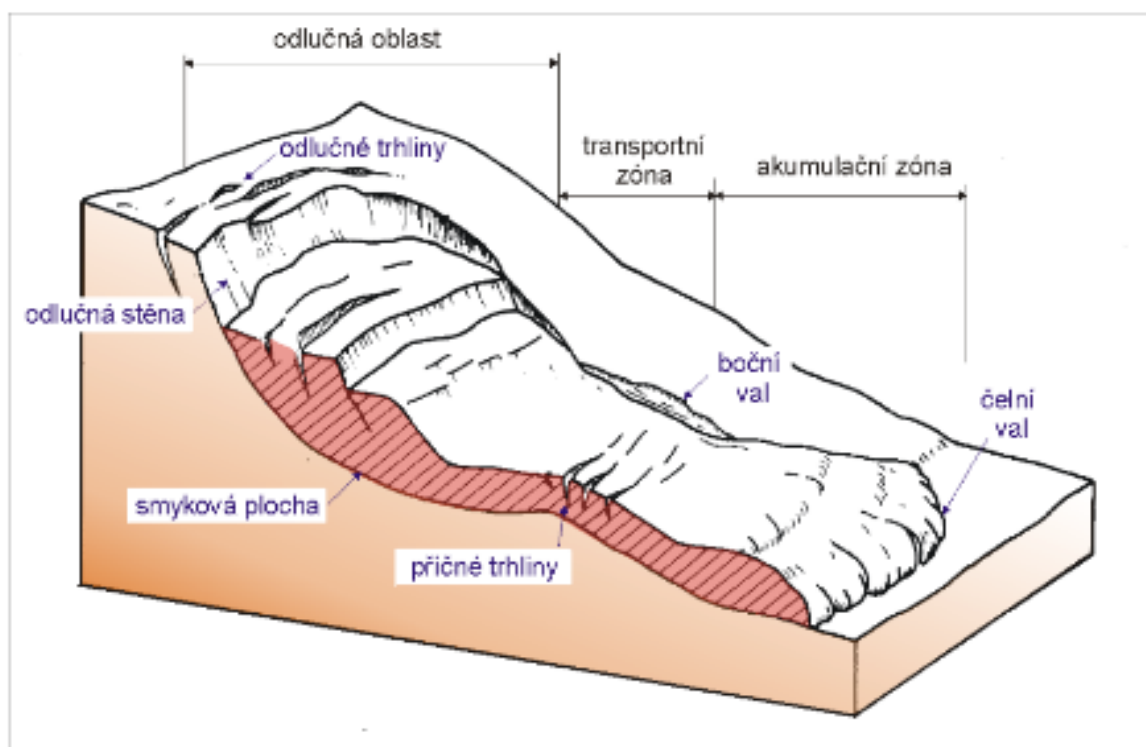
Svahové pohyby jsou gravitační pohyby horninového masivu z vyšších poloh do nižších, na rozdíl od transportu hornin přenášených sněhem, ledem, vodou a větrem [1].

Z geologického hlediska není žádný svah trvale stabilní. Působením zemské tíže a exogenních činitelů vznikají na svazích různé pohyby hornin. Tyto pohyby jsou obvykle pomalé, málo znatelné a projevují se při dlouhodobém působení. Vedle těchto pomalých pohybů dochází občas k náhlým katastrofálním pohybům, které porušují přirozené svahy nebo i dílo člověka [2].

Sesouváním mohou být postiženy jak pevné skalní horniny, tak mladé nezpevněné uloženiny pokryvu, jako jsou sutě, hlíny, jíly a písky různého původu [2].

Výsledkem svahového pohybu je svahová deformace, která vzniká v důsledku porušení rovnováhy sil ve svahu. Pro výslednou svahovou deformaci jsou charakteristické tyto hlavní části sesuvu (viz obrázek 1) jsou popsány tyto hlavní části sesuvu [3]:

- Odlučná hrana – ohraničuje sesuv v jeho horní části a navazuje na nejvyšší bod sesuvu.
- Odlučná stěna – při pohybu materiálu směrem po svahu dolů od odlučné hrany vzniká strmá plocha neporušené části svahu při horním okraji, na které je většinou vidět část smykové plochy sesuvu.
- Boční val – valy vznikají pohybem masy po svahu dolů a následně vytlačují materiál na bočních stranách sesuvu.
- Čelní val – spodní hrana přemístěného materiálu.
- Příčné trhliny – otevřené trhliny kolmé na směr sesouvání vyskytující se v odlučné části nebo v těle sesuvu.
- Smyková zóna – kritické místo s nejnižším stupněm stability.



Obrázek 1: Hlavní části sesuvu [18].

2.1. Příčiny svahových sesuvů

Je důležité rozpoznat podmínky, které způsobují náchylnost území k sesouvání. Rozmanitost svahových pohybů je podmíněna nejen geologickou strukturou svahu, ale také faktory, které sesouvání způsobují; jsou to zejména [4]:

- Změna sklonu svahu – Může být způsobena přirozenou cestou podemletím paty svahu erozní činností vodního toku nebo uměle podkopáním svahu. Výjimečně může být změna sklonu svahu způsobena i tektonicky.
- Přetížení násypy – Způsobuje vzrůst smykových napětí a zvětšení napětí vody v pórech jílovitých zemin, které zmenšuje vnitřní tření. Čím je rychlejší, tím je nebezpečnější.
- Otřesy a vibrace – Zemětřesením vznikají v horninách kmity různé frekvence, tím vznikají dočasné změny napětí, které mohou narušit rovnováhu svahu. Při otřesech může dojít k přemístění nebo pootočení zrn, což má za následek náhlé ztekucení zemin.
- Změna obsahu vody – vliv atmosférických srážek, smršťování, rychlá změna vodní hladiny.

- Působení podzemní vody – Voda může působit tlakem na částice zeminy a zhoršuje stabilitu svahu. Dalším případem je vyplavování částic jemnozrnné zeminy nebo rozpustného tmelu. Problém může způsobit i napjatá hladina podzemní vody, která působí na nepropustné vrstvy v nadloží jako vztlak.
- Činnost mrazu – Mrznutím se zvětšuje objem vody v trhlinách a tím se rozšiřují staré trhliny a vznikají nové. Následkem rozpukání hornin je menší soudržnost. V jílovitých a jílovitopísčitých zeminách se tvoří ledové vrstvičky, které důsledkem tání zvětšují svůj obsah vody v povrchové vrstvě, která rozbřídá.
- Zvětrávání hornin – Soudržnost hornin se postupně porušuje mechanickým a chemickým zvětráváním.
- Změny ve vegetačním porostu svahů – Kořeny stromů mechanickým působením udržují stabilitu svahu a zároveň přispívají k vysušení svahu. V případě odlesnění svahu se výrazně mění vodní režim v povrchových vrstvách.
- Báňská činnost – V podzemí vznikají poměrně rozsáhlé prostory vytěžených surovin, čím se mění stav napjatosti v jejich okolí. Volné prostory se postupně zavalují a způsobují velké přetvoření na povrchu území, které se přenáší i na stavební objekty, inženýrské sítě a komunikace [36].

2.2. Klasifikace svahových pohybů

Klasifikací sesuvných jevů se v minulosti zabývala řada autorů jako třeba Heim (1882), Howe (1909), Sharpe (1938), Varnes (1958) a mnoho dalších. Často volili různá kritéria pro jejich rozdělení, např. Terzaghi dělí sesuvy z inženýrsko-geologického hlediska se zřetelem na fyzikální vlastnosti svahu. F. P. Svarenský přihlíží k průběhu smykových ploch a I. P. Popov doporučuje přihlédnout k regionálním poměrům [4].

Sesuvné jevy můžeme rozdělit podle různých kritérií [5]:




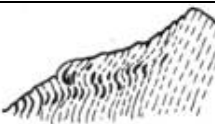
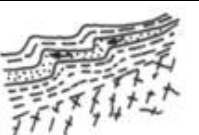


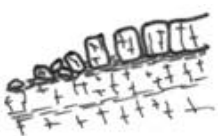

- Věk – recentní, fosilní.
- Stupeň aktivity – aktivní, dočasně uklidněný, stabilizovaný.
- Geneze – přirozený, antropogenní.
- Opakovatelnost – jednorázový, periodický.
- Vývojové stadium – iniciační, rozvinutý, finální.
- Tvar půdorysu – proudový, frontální, plošný, nepravidelný.
- Zřetelnost morfologické formy – zřetelná, zastřená nebo pohřbená svahová deformace.
- Pozice vůči dalším svahovým deformacím – samostatná, složená, součást složené svahové deformace.

V roce 1974 se A. Němčok, J. Pašek a J. Rybář pokusili vytvořit takové klasifikační schéma, které roztrídí všechny známé přírodní svahové pohyby na základní skupiny a typy. Zavedli pojmenování výsledné poruchy a svahové pohyby rozdělili na čtyři velké skupiny: ploužení, sesouvání, stékání a řícení [1]. Tyto skupiny budou podrobněji rozebrány v následujících podkapitolách.

2.2.1. Ploužení

Z geologického hlediska jde o dlouhodobý, zpravidla nezrychlující se pohyb hornin s nezřetelnou hranicí vůči pevnému podloží. Velikost posunů je v mm/rok a vzhledem k prostorovým rozměrům masivu je zpravidla zanedbatelná. Ploužení je v ČR nejrozšířenější typ svahového pohybu, ale je nejobtížněji pozorovatelný a vymezitelný [5].









Tabulka 1: Klasifikační schéma svahových pohybů – ploužení (upraveno) [6].

Základní skupiny		Základní typy svahových pohybů	Příklady nejrozšířenějších typů svahových pohybů a jejich charakteristika	Příklad	Název výsledné svahové deformace	
ploužení	podpovrchové	tahové rozvolňování	rozvolňování skalního svahu vznikem puklin, které lemují tvary a dna erozního údolí		narušené svahy napětím	rozvolněné svahy
			rozvolňování svahu otevíráním tahových trhlin v jeho horní části		narušené svahy tahovými trhlinami	
		gravitační roztrhání	roztrhání vysokých horských masivů s hrášťovými poklesy jejich svahů a roztrháním jejich hřebenů		rozpadlé svahy, potrháné svahy, svahy s roztrhanými hřebeny	
		gravitační shrnutí (zvrásnění)	shrnutí vysokých horských masivů zvrásněním jejich vrstev se stupňovitými poklesy		shrnuté svahy se zohýbanými vrstvami	
			shrnutí vrstev podél okrajů pánví		gravitační vrásy	
			vytláčení málo únosných a měkkých hornin na dně údolí		údolní antiklinály, vytláčení vrstev pode dnem údolí	
		vytláčení	rotační vytláčení plastického podloží při blokových pohybech		bloková pootočení, bloková pole	
			laterální vytláčení při blokových pohybech po předurčené ploše		blokové posuny, blokové rozpadliny, bloková pole	
	povrchové	ploužení	dlouhodobé plazivé přetváření povrchových vrstev svahů v zóně vlivu sezónních klimatických změn		slézání sutí a svahových hlín, povrchové ohýbání vrstev, vyvlečení a hákování vrstev, kamenná moře, ledovce	

2.2.2. Sesouvání

Sesouvání je relativně rychlý, krátkodobě klouzavý pohyb horninových hmot na svahu po jedné nebo více smykových plochách. Jeho rychlost dosahuje cm až m/den a výslednou formou je sesuv. V ČR je to nejčastěji dokumentovaný typ svahového pohybu a postihuje např. rozsáhlou oblast Beskyd, České Středohoří a Poohří [5].


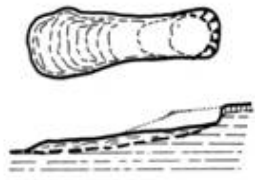
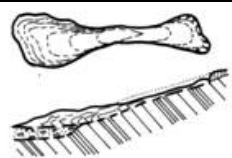
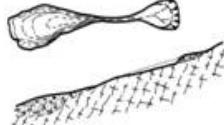
Tabulka 2: Klasifikační schéma svahových pohybů – sesouvání (upraveno) [6].

Základní typy		Příklady nejrozšířenějších typů svahových pohybů a jejich charakteristika	Příklad	Název výsledné svahové deformace
sesouvání	klouzání (smýkání)	klouzání zemin podél rotační smykové plochy		rotační sesuvy, sesuvy podél rotační smykové plochy, insekventní sesuvy
		klouzání zemin podél rovinné smykové plochy		planární sesuvy, sesuvy podél rovinné smykové plochy, konsekventní sesuvy, skalní sesuvy po předurčené smykové ploše, sklouzávání skalních hornin
		klouzání skalních hornin podél rovinné smykové plochy		
		klouzání podél složené, zakřivené a rovinné smykové plochy		rotačně-planární sesuvy, sesuvy podél složené smykové plochy
	vytláčení	klouzání po převážně horizontální nebo mírně ukloněné smykové ploše, často spojené s vytlačováním vrstev úpatí		laterální sesuvy, translační sesuvy, laterální sesuvy s vytlačováním
		sesouvání podél zakřivené smykové plochy v důsledku vytlačování méně únosných podkladových zemin		sesuvy v důsledku vytlačování
	prosedání	sesunutí v důsledku náhlého rozrušení původní struktury vrstvy prachovitých (sprašových) a citlivých disperzních zemin převlhčením, vyluhováním nebo seizmickými otřesy		sesuvy při prosedání nebo vyluhování
	vyplavování	Sesunutí v důsledku porušení struktury vrstvy stejnozrnných písčito-prachovitých a písčitých zemin při hydrodynamickém působení podzemních vod		sufózní sesuvy, sesuvy hydrodynamického vyplavování

2.2.3. Stékání

Jde o rychlý krátkodobý pohyb horninových hmot ve viskózním stavu. Stékající hmoty dosahují rychlosti až km/h a jsou ostře odděleny od neporušeného podloží. Výslednou formou je proud. Tento druh pohybu se v ČR vyskytuje nepravidelně a je vázán na extrémní srážky spolu s vhodnými geologickými a geomorfologickými podmínkami [5].

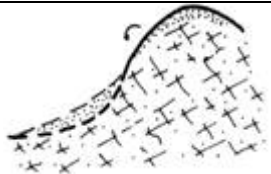
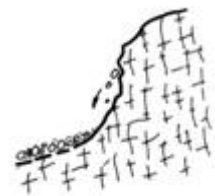
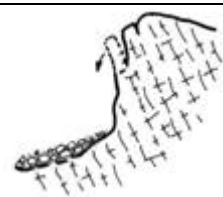

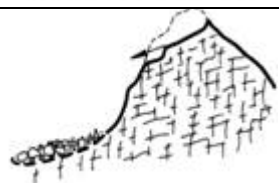
Tabulka 3: Klasifikační schéma svahových pohybů – stékání (upraveno) [6].

Základní typy	Příklady nejrozšířenějších typů svahových pohybů a jejich charakteristika	Příklad	Název výsledné svahové deformace
stékání	stékání povrchových částí pokryvných zemin při jejich velkém převlhčení a nasycení v období intenzivních srážek nebo jarního rozmrzání a tání		strže
	stékání svahových neulehlých písčitoprachovitých zemin a mořských a jezerních disperzních zemin při náhlém rozrušení jejich struktury spojené s jejich ztekucením		zemní proudy v citlivých jílech, bahenní proudy, subakvální proudy
	stékání svahových jílovitopísčitých a hlinitých zemin při jejich výrazném přesycení povrchovými i podzemními vodami		zemní proudy, rozbahněné proudy
	stékání hlinitých a kamenitohlinitých svahových uloženin působením přívalových vod		hlinité přívalové proudy, kamenitohlinité přívalové proudy - mury

2.2.4. Řízení

Velmi rychlý pohyb horninových hmot v řádech sekund na strmých svazích. Při pohybu se uplatňuje volný pád. Ztrátě kontaktu hmoty s podložím může předcházet plouživý pohyb. Tento jev se nejčastěji vyskytuje v oblasti skalních pískovcových měst, u nás např. v oblasti Broumovska, Českého Ráje nebo Hřenska [5].

Tabulka 4: Klasifikační schéma svahových pohybů – řízení (upraveno) [6].

Základní typy		Příklady nejrozšířenějších typů svahových pohybů a jejich charakteristika	Příklad	Název výsledné svahové deformace
řízení	sesypávání	přemísťování drobných úlomků hornin kutálením, válením a poskakováním		sesypy vydrolení
	opadávání	náhlé přemísťování úlomků hornin volným pádem (v počáteční části dráhy padajících mas)		opadové kužely, suťové kužely, haldy, padání kamenů
	odvalování překlopením	náhlé přemísťování bloků a stěn skalních hornin především volným pádem		odvalová řízení překlopením, skalní řízení, skalní odtržení
		náhlé přemísťování zemin především volným pádem		odvaly zemních stěn
	odvalování sklouznutím	náhlé přemísťování skalních bloků, při kterém se kombinuje klouzání po předurčené ploše volným pádem		planární skalní řízení, skalní řízení kombinované se sklouznutím, odvalové řízení sklouznutím

2.3.Sanace a metody zvýšení stability

Cílem sanace sesuvů je předcházet svahovým pohybům nebo je zastavit.

Důvodů pro zvýšení stability svahu je několik. Nastalá deformace svahu může způsobit škody na stavebních objektech, ohrozit jejich funkci a stabilitu. Při návrhu metod je nutné odlišovat, zda jde o opatření pro zvýšení bezpečnosti proti prvotnímu sesuvu, o sanaci starého sesuvu či o sesuv probíhající pomalou rychlostí [7].

Přímý vztah k pohybům hmoty má eroze, která je základním elementem v geologickém cyklu denudace. Proto má kontrola eroze základní význam pro prevenci svahových pohybů [7].

Soubor metod je velmi rozsáhlý a při návrhu vhodné sanační metody záleží na typu svahové deformace a jejím rozsahu. Níže uvedené metody mohou být aplikovány individuálně nebo ve vzájemné kombinaci [7].

2.3.1. Úprava tvaru zemního tělesa

Tato metoda patří mezi nejčastější, jelikož se lze před realizací vyhnout časově náročným průzkumným pracím. Pro zvýšení stability svahů můžeme využít různé postupy, nejvhodnější volíme podle situace [7]:

- Odkop materiálu u horní hrany svahu pro snížení průměrného sklonu.
- Násypy u paty svahu – vytvoření zatěžovací lavice.
- Odebíráním hmoty tak dlouho, dokud není nastolena rovnováha. Pro dosažení dostatečně stabilního sklonu svahu tato metoda vyvolává postupné sesuvy. Využití je např. při těžbě.
- Odstranění nebo nahrazení usmýknutého materiálu. Tato metoda je vhodná při méně rozsáhlých sesuvech.

Nejčastějším opatřením bývá odtěžení materiálu z odlučné oblasti a přetížení v akumulační oblasti sesuvu [7].

2.3.2. Odvodnění svahu

Princip odvodnění spočívá ve snížení pórových tlaků a ve zvětšení smykového odporu. Jedním z prvních sanačních opatření je právě odvodnění sesuvného území. Rozlišujeme povrchové a podpovrchové, ve většině případů se tyto dva druhy odvodnění kombinují [7].

A. Povrchové odvodnění

Povrch území postiženého sesouváním je zpravidla nerovný, zvlněný a narušený trhlinami, ve kterých se zdržuje voda. Proto je nutné bezpečně zachytit a odvést všechny povrchové vodoteče, které přitékají do ohroženého území, především v odlučné oblasti. Po částečném uklidnění sesuvu se zřizují pro odvedení dešťových a sněhových vod otevřené příkopy s přiměřeným spádem. Příkopy je nutné upravit podle druhů zemin, aby jejich svahy i dno byly dostatečně pevné a nebyly porušovány erozí [4].

Vedle povrchové sítě příkopů na sesuvném území se mohou zřídit i obvodové příkopy nad odlučnou oblastí, které odvádějí přitékající vodu z okolí (Obrázek 2) [4].



Obrázek 2: Povrchové odvodnění svahu [8].

B. Podpovrchové odvodnění

Hloubkové odvodnění je v mnoha případech jedním z velmi účinných prostředků pro zvýšení stability svahů. Při správném odvodnění svahu je možné dosáhnout strmějších sklonů. Tento druh odvodnění má několik variant [4]:

- Drenážní žebra – jsou to rýhy vybudované kolmo na svah a vyplněné propustným materiálem např. šterkem.
- Horizontální odvodňovací vrty – vrty jsou provedeny s mírným sklonem v patě s perforovanou výpažnicí.
- Odvodňovací štoly – používají se u velkých sesuvů a nahrazují vrty.

Na obrázku 3 je ukázka horizontálních odvodňovacích vrtů.



Obrázek 3: Horizontální odvodňovací vrty [8].

2.3.3. Opěrné konstrukce

V některých případech nelze zmenšit sklon svahu nebo odvodnění není dostatečné ke stabilizaci území. Proto se pro dosažení rovnováhy využívá různých stěn, například gabionová stěna, která je na obrázku 4. Nevýhodou je, že souvislé zdi vyžadují základy a výkop pro ně je zpravidla příčinou sesuvů. Výhodné jsou opěry zřízené z vrtaných pilot. Vzhledem k jejich malé schopnosti odporovat smykovým silám, je vhodné hlavu piloty zakotvit pomocí táhel do horniny. Podstatné je svah odvodnit [19].



Obrázek 4: Výstavba opěrné gabionové zdi [9].

2.3.4. Kotvení

Stabilizace horniny kotvením se využívá při zabezpečování skalních svahů, nebo v hornictví či tunelářství. V kombinaci s opěrnými konstrukcemi se užívá i při stabilizaci zemních svahů. Při návrhu kotvení se uplatňují tři hlavní faktory a to je statická účinnost a namáhání kotevních prvků, jejich trvanlivost a vliv času při osazování. Kotvit můžeme pomocí kotev nebo svorníků, které přenášejí namáhání do masívu [4]. Ukázka kotvení skalního svahu pomocí kotevních tyčí a sítě je zobrazena na obrázku 5.



Obrázek 5: Kotvení skalního svahu pomocí kotevních tyčí [10].

2.3.5. Zpevňování zemin

U málo propustných zemin nelze docílit stabilizování svahu pomocí povrchového nebo hloubkového odvodnění a je nutné využít jiný způsob [4]. Mezi nejčastější metody patří injektování a chemická stabilizace.

V poslední době se velmi často používají k vyztužování povrchové vrstvy svahů prvky, jako jsou geomříže, geotextilie (Obrázek 6) nebo geobuňky. Geotextilie jsou tkaniny nebo rohože ze syntetických vláken, které dobře snášejí klimatické vlivy a mají dobré pevnostní a deformační vlastnosti [7].



Obrázek 6: Zpevnění svahu pomocí kokosové geotextilie [11].

2.3.6. Sanace rostlinným porostem

Při svahových pohybech dochází k porušení stromového porostu i drnové pokrývky. Proto je důležité obnovit porost a zalesnit svah vhodnými dřevinami (Obrázek 7). Zalesňování se provádí až v poslední etapě sanačních prací a zpravidla až po uklidnění sesuvu. Lesní porost má funkci vysušit povrchové vrstvy a pak je mechanicky upevnit soustavou kořenů. Za tímto účelem jsou vhodnější dřeviny listnaté, zejména olše, topol vrba nebo bříza [4].



Obrázek 7: Zpevnění svahu lesním porostem [12].

2.4. Geotechnický monitoring svahů

Monitoring je jinými slovy kontrola a sledování stavu svahové deformace v čase. Přispívá k objektivnější představě o procesech, které probíhají uvnitř svahového tělesa. Je vhodné monitorovat nejen svahové těleso, ale i okolí. Při návrhu a realizaci monitorovacích měření je důležité vzít v úvahu všechny faktory, které určují stabilitní situaci svahu. Mezi tyto faktory můžeme zařadit především geometrii a geologii svahu, fyzikálně – mechanické, strukturní a hydraulické vlastnosti horninového prostředí, vodní režim (hladina podzemní vody, kolísání HPV, dynamické vlivy proudění vody), primární stav napjatosti ve svahovém tělese. Dalším inicializačním činitelem může být statické nebo dynamické přetížení vlivem dopravy, těžkých mechanismů nebo vlivy seismické, jak přírodní tak umělé [14], [15].

Mezi základní monitorovací měření zeminových svahů patří [13], [14], [15]:

- Sledování přetváření na povrchu i uvnitř.
- Měření smykových ploch (hloubka, rychlost pohybu).
- Monitoring výšky hladiny podzemní vody a pórových tlaků.

2.4.1. Sledování přetváření na povrchu i uvnitř

Ke sledování posunů na povrchu se nejčastěji využívají geodetická měření, která dokáží vyhodnotit absolutní hodnoty posunů, jejich orientaci i časový vývoj [13].

Pokud je znám směr pohybu sesuvu, postupujeme metodou záměrné přímky. Po vrstevnicích se přes těleso sesuvu instalují kolíky do jedné řady, v případě pohybu sesuvu dochází k vychýlení kolíků z řady. Odchyly kontrolovaných bodů od záměrné přímky se měří teodolitem [15].

V případě, že není znám směr pohybu nebo je terén svahu nepřehledný či zarostlý, lze využít metodu geodetického určování polohy bodu v prostoru. Často využívaná metoda je protínání úhlů nebo délek. Pro zjištění horizontálních nebo vertikálních posunů lze použít trigonometrickou metodu, kterou se měří úhly a vzdálenosti. Tato metoda je velmi časově i finančně náročná. Lze ji kombinovat s elektrooptickými přístroji, které jsou přesné a rychlé. V poslední době se začínají využívat elektronické dálkoměry fungující na principu elektromagnetických vln [15].

Mezi další metody hodnocení vývoje svahové deformace patří fotogrammetrie. U tohoto způsobu srovnáváme snímky libovolného počtu zaregistrovaných bodů v různých časových intervalech [15].

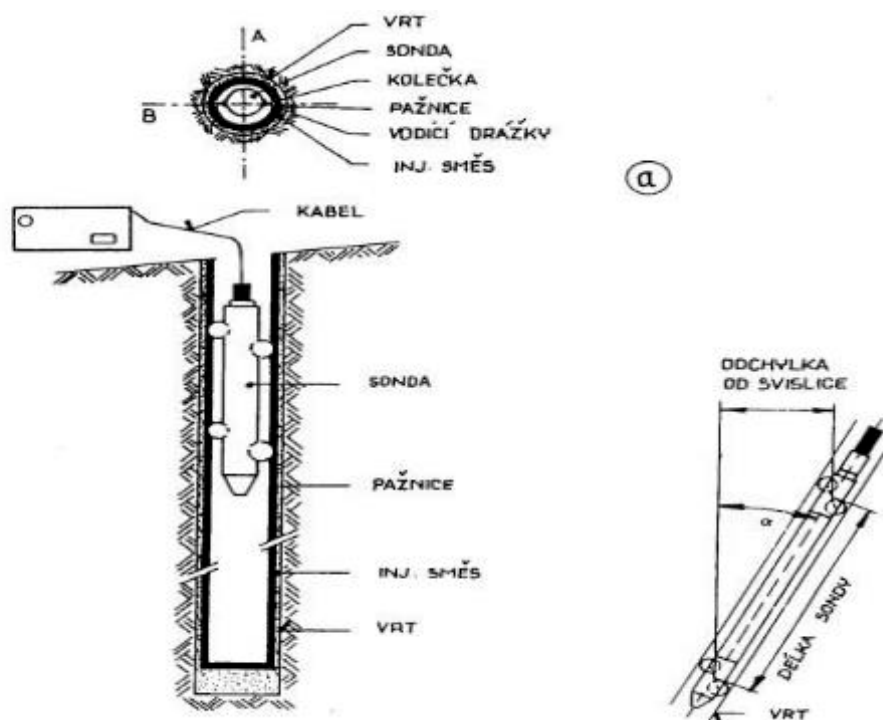
Pro přesné měření pohybu svahu se používají lankové extenzometry. Na těleso sesuvu je osazen pozorovací bod, na který se připevní ocelové lanko, které se vede na pevný bod stabilní části svahu. Prodloužení lanka se odečítá mechanicky nebo elektronicky [13].

Především v odlučné části sesuvu je vhodné monitorovat případné rozevírání nebo uzavírání trhlin a to především pomocí dilatometrů. Tyto přístroje registrují změnu vzdálenosti dvou bodů pevných na protilehlých stranách trhliny. Vyhodnocení je buďto mechanické nebo elektrické s využitím strunových tenzometrů [14].

Pro zjišťování velmi malých posunů bylo vyvinuto terčové měřidlo založeno na mechanicko-optickém principu a umožňuje sledovat pohyb ve třech směrech [13], [15].

2.4.2. Měření vývoje smykových ploch

Průběh smykové plochy a hloubka sesuvu se zpravidla zjišťuje sondováním. Zkoumání jednotlivých vrstev lze provést v kopaných šachticích, rýhách či vrtaných sondách. Užívá se různých typů inklinometrů, jejichž výhoda spočívá v proměření vrtu po celé jeho délce a díky čemuž, lze pak nakreslit plynulý profil zakřiveného vrtu. Z průběhu zaznamenaných dat lze poznat, zda se jedná o sesuv s několika smykovými plochami nad sebou nebo o viskózní pohyb bez výrazných smykových ploch. Základní součástí tohoto typu měření je inklinometrická sonda s citlivým náklonoměrem. Sonda se protahuje vrtem osazeným zainjektovanou pažnicí se dvěma dvojicemi drážek, které zajišťují orientaci sondy. V každé poloze sondy se vyhodnotí náklon od svislice a na základě znalosti délky sondy se přepočítá vodorovný posun [13]. Na obrázku 8 je vyobrazeno schéma inklinometrického měření.



Obrázek 8: Schéma inklinometrického měření [16].

Další metoda používaná ke stanovení hloubky smykové plochy je založena na principu porušení elektrických obvodů z křehkých vodičů. Vodič se spustí do nezainjektovaného vrtu a zalije se cementovou zálivkou. Při příčném posunu v oblasti smykové plochy dojde k porušení zálivky a přerušení elektrických obvodů. Nevýhodou je, že je zachycena pouze jedna smyková plocha, na níž je nejrychlejší pohyb [13].

Dalšími možnostmi je měření například pomocí různých druhů extenzometrů (magnetických, tyčových, svahových), průchodoměrem, gleitmikrometrem nebo švýcarským systémem Trivec [13], [14], [15].

2.4.3. Monitoring výšky hladiny podzemní vody a pórových tlaků

Nejdůležitějším faktorem stability svahových těles je podzemní voda, která má díky různým vlivům proměnlivou výšku hladiny, s tím souvisejí i pórové tlaky. Mnohdy dochází ke změnám vodního režimu, což se ve svahu projeví až po čase [14].

K monitoringu pórových tlaků se využívají otevřené nebo uzavřené piezometry. Při volbě typu piezometru, je nutné zvážit velikost očekávaného tlaku a reakční čas, který je rozhodující především v případě rychlého kolísání tlaku podzemní vody a nepropustné horniny v okolí hrotu. Princip otevřených piezometrů je primárně založen na měření výšky hladiny podzemní vody, ze které je následně díky znalosti objemové tíhy vypočítán vodní

tlak. Piezometr je tvořen stoupací identifikační trubicí a filtračním hrotem, jehož délka se odvíjí od propustnosti zeminy. K měření výšky hladiny podzemní vody se používají sondy se světelnou nebo zvukovou signalizací [13], [14].

Základní typy uzavřených piezometrů [20]:

- Pneumatický – monitorovaný vnější tlak je vyrovnáván z druhé strany membrány (vyrovnávací tlak je roven vodnímu tlaku).
- Strunový – změna frekvence struny indikuje průhyb membrány, z něhož je vyhodnocena velikost tlaku na membránu.
- Odporový – membrána je opatřena odporovými tenzometry, které mění svůj odpor v závislosti na průhybu membrány.

Důležitá je i znalost směru proudění podzemní vody a k tomu se nejčastěji používají tyto metody [21]:

- Metoda hydroizohyps.
- Metody založené na měření elektrické vodivosti a teploty podzemních vod.
- Metody jednovrtové.
- Metody vícevrtové.

3. Metody řešení stability svahů

Pro výpočet stability svahu se používají různé druhy metod. Výběr závisí na požadovaných výsledcích, zda potřebujeme stupeň stability nebo celkový náhled na těleso, např. napětí-o-deformační stav. Důležitým faktorem jsou i vstupní parametry a okolní podmínky.

3.1. Metody mezní rovnováhy

Metody mezní rovnováhy vycházejí z určitých předpokladů smykových ploch pro jednotlivé typy zemin. U homogenních soudržných zemin se uvažuje zakřivená smyková plocha, nejčastěji kruhová a u homogenních nesoudržných zemin smyková plocha rovinná. V případě nehomogenních či pevnostně anizotropních zemin má smyková plocha obecný tvar, odpovídající minimálnímu odporu. U metody mezní rovnováhy je výsledkem výpočtu tzv. součinitel či stupeň stability F . Ten můžeme definovat jako poměr pasivních sil přispívajících ke stabilitě a aktivních sil, které stabilitu svahu snižují. Nevýhodou této metody je nutnost předem zadávat smykovou plochu. Rovnice pro výpočet stability má tvar dle vzorce [7]:

$$F = \frac{\text{pasivní síly}}{\text{aktivní síly}}$$

3.1.1. Soudržné zeminy

U homogenních soudržných zemin předpokládáme smykovou plochu zakřivenou, ve většině případů kruhovou s poloměrem R a středem O . Na základě momentové podmínky ke středu O , lze stanovit síly aktivní, vyvolávající sesuv a síly pasivní, které zabraňují sesuvu. Ve chvíli, kdy si budou momenty rovny, dojde ke stavu mezní rovnováhy. V praktickém řešení se využívají tzv. proužkové metody, kdy je kruhová výseč rozdělena na proužky [7].

- Fellenius / Pettersonova metoda

Nejjednodušší proužková metoda pro výpočet stability svahu s kruhovou plochou. Tato metoda neuvažuje se silami, které jsou vyvolané sousedními bloky a vychází pouze z momentové podmínky. Výpočet stupně stability svahu F se získá ze vztahu [7]:

$$F = \frac{1}{\sum W_i \cdot \sin \alpha_i} \sum [c_i \cdot l_i + (N_i - u_i \cdot l_i) \cdot \operatorname{tg} \varphi_i]$$

u_i – pórový tlak na blok (kPa)

c_i, φ_i – efektivní hodnoty pevnostních parametrů zemin (kPa, °)

W_i – tíha bloku (kg/m³)

N_i – normálová síla na úseku smykové plochy (kN)

α_i – sklon úseku smykové plochy (°)

l_i – délka úseku smykové plochy (m)

- Bishopova metoda

Základem metody je splnění momentové podmínky, která zavádí rovnováhu sil pro jednotlivý proužek. Hledaná hodnota F se zjišťuje postupným přibližováním. Nejčastěji se udává ve tvaru [7]:

$$F = \frac{1}{\sum W_i \cdot \sin \alpha_i} \sum \frac{c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \operatorname{tg} \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\operatorname{tg} \varphi_i \cdot \sin \alpha_i}{F}}$$

u_i – pórový tlak na blok (kPa)

c_i, φ_i – efektivní hodnoty pevnostních parametrů zemin (kPa, °)

W_i – tíha bloku (kg/m³)

α_i – sklon úseku smykové plochy (°)

b_i – šířka bloku (m)

Často se ovšem setkáváme s nehomogenitou, vrstevnatostí nebo se střídáním různých vrstev. V tomto případě musíme přistoupit k posouzení stability na obecné smykové ploše. V zásadě je můžeme rozdělit do dvou skupin [7]:

- Proužkové metody

Metody jsou obdobné, jako již zmíněné proužkové metody na kruhové ploše. Do této skupiny patří např. metoda Janbuova, Sarmovu, Morgensternova-Priceova nebo metoda ITF. Lze použít i konvenční metodu Skempton a Hutchinson. Problémem proužkových metod je jejich statická neurčitost [7].

- Klínové metody

Klínová metoda vychází ze sesuvů odpozorovaných v přírodě. Tyto metody řeší stabilitu určitého bloku nad zvolenou smykovou plochou, který je ze stran zatížen aktivními a pasivními bloky zeminy. Využívají se především v přehradním stavitelství při posuzování stability sypaných přehrad se zemním těsněním [7].

3.1.2. Nesoudržné zeminy

Smyková plocha v případě nesoudržných zemin se předpokládá rovinná a může dojít k následujícím modelovým případům [22]:

- Svahem neprosakuje voda

Uvažujeme svah se sklonem α a pracujeme s elementem o objemu rovnému 1. Jeho objemová tíha je γ a rozložíme ji do směru rovnoběžného se svahem $T = \gamma \sin \alpha$ a do směru kolmého $N = \gamma \cos \alpha$. Proti posunutí elementu působí tření $\gamma \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi$. Z podmínky rovnováhy obdržíme:

$$\gamma \sin \alpha = \gamma \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi$$

↓

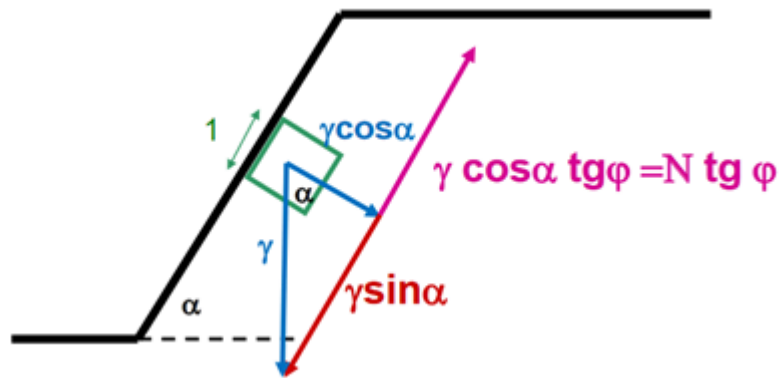
$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi$$

Součinitel bezpečnosti vyjádříme poměrem:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{F}$$

↓

$$F = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha}$$



Obrázek 9: Grafické znázornění - svahem neprosakuje voda [23].

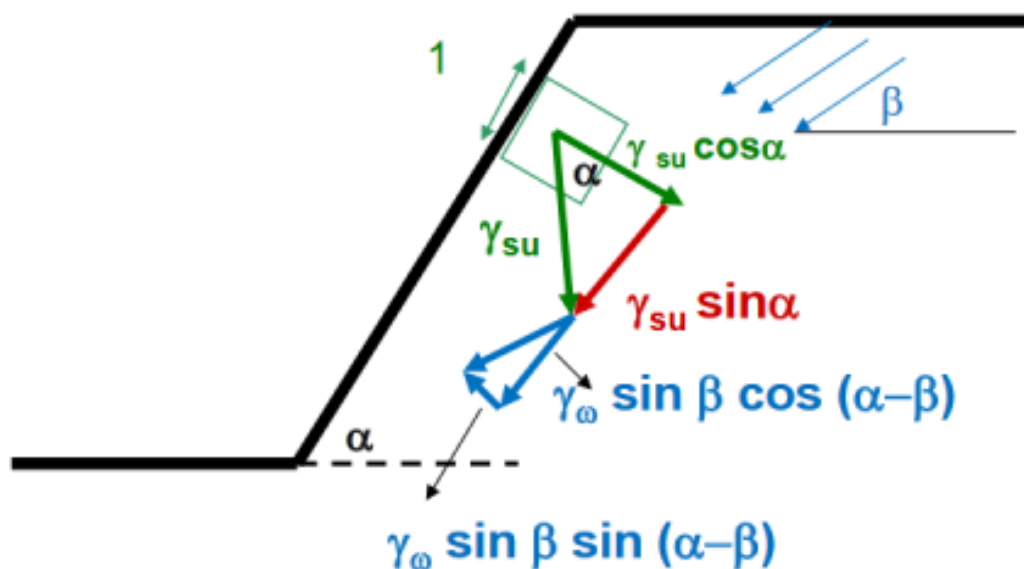
- Voda prosakuje pod obecným úhlem

Průsakový tlak na jednotku objemu zeminy $p_v = \gamma_w \sin \beta$ rozložíme do složky rovnoběžné se svahem $p_v = \cos(\alpha - \beta)$ a do složky kolmé ke svahu $p_v = \sin(\alpha - \beta)$. Svah je v indiferentní rovnováze, jestliže:

$$\gamma_{su} \sin \alpha + \gamma_w \sin \beta \cos(\alpha - \beta) = [\gamma_{su} \cos \alpha - \gamma_w \sin \beta \sin(\alpha - \beta)] \operatorname{tg} \varphi$$

↓

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\gamma_{su} \sin \alpha + \gamma_w \sin \beta \cos(\alpha - \beta)}{\gamma_{su} \cos \alpha - \gamma_w \sin \beta \sin(\alpha - \beta)}$$



Obrázek 10: Grafické znázornění - voda prosakuje pod obecným úhlem [23].

3.2. Numerické metody modelování

Obecným principem všech numerických metod modelování je převedení složitých soustav diferenciálních rovnic na jednodušší soustavy lineárních algebraických rovnic pro neznámé hodnoty posunů v uzlových bodech sítě. Na rozdíl od metody mezní rovnováhy nevyžadují stanovení výchozí smykové plochy a zahrnují ve výpočtu vliv přetvárného chování prostředí. Umožňují získat celkovou představu o napěťo-deformačním stavu a stabilitě ve svahovém tělese. Nevýhodou těchto metod je časová náročnost při přípravě výpočetního modelu a větší nároky na přesnost vstupních parametrů. Mezi nejpoužívanější numerické metody patří [24]:

:

3.2.1. Metoda konečných diferencí

Podstatou metody je pokrytí oblasti, v níž hledáme řešení diferenciální rovnice, sítí, která se skládá z konečného počtu uzlových bodů. Derivace v každém bodě sítě se nahradí příslušnými diferencemi tj. lineárními kombinacemi funkčních hodnot hledané funkce v okolních bodech. Po této záměně dostáváme soustavu lineárních algebraických rovnic s neznámými hodnotami posunů v uzlových bodech [24].

3.2.2. Metoda konečných prvků

Tato metoda je nejčastěji používaná pro modelování rovinných i prostorových úloh. Podstatou metody je diskretizace zkoumané oblasti na prvky, nejčastěji trojúhelníky, které jsou mezi sebou spojeny pouze konečným počtem uzlových bodů. Základem je generace sítě. Zkoumané těleso je zatíženo silami působícími v uzlech, které jsou ekvivalentní původnímu zatížení. Volba aproximační funkce jednoznačně definuje stav posunutí uvnitř každého konečného prvku. Na základě této aproximace se s využitím podmínek pro minimalizace energetického potenciálu odvodí pro každý uzel rovnice rovnováhy. Řešením takto získané soustavy algebraických rovnic, představujících podmínky rovnováhy ve všech uzlových bodech, jsou hodnoty posunů. Tyto posuny společně s přetvárnými charakteristikami materiálu a zvoleným konstitutivním vztahem mezi napětím a přetvořením definují napěťový stav uvnitř prvku i na jeho hranicích. Metoda je implementována např. v programu PLAXIS, GEO MKP, MIDAS GTS a další [24].

3.2.3. Metoda hraničních prvků

Začala se rozvíjet především s potřebou snížit dimenzi výsledné soustavy rovnic především v případě prostorových modelů. Hlavní výhodou této metody je diskretizace nikoliv celé oblasti, ale pouze její hranice. Na každém hraničním prvku se aproximuje přesné řešení úlohy z uzlových bodů pomocí interpolačních funkcí. Nevýhodou této metody je nutnost znalosti fundamentálního řešení, které je základem pro analytické stanovení napětí uvnitř oblasti. Vzhledem k rozvoji výpočetní techniky se tato metoda dostává do pozadí [24].

3.2.4. Metoda oddělených elementů

Je vhodná pro modelování diskontinua. Modeluje se vzájemná interakce tuhých nebo deformovatelných bloků, úloha diskontinuit je dominantní. Úloha o spolupůsobení bloku se svým okolím je výpočetně řešena pro tak krátký časový okamžik, že impuls od jednoho bloku může být v daném výpočetním kroku předán pouze na jeho kontakty. Interakci a pohyb sousedících bloků lze popsat explicitními rovnicemi a šíření impulsů vyjádřit velkým počtem výpočetních cyklů, v nichž dochází k postupnému vyrovnávání nerovnovážného stavu bloků a kontaktů tzv. dynamická relaxace. Ve výpočetním cyklu se tedy řeší dynamická rovnováha a primárně neznámými hodnotami jsou hodnoty rychlostí v uzlech zón. Umožňuje zavedení geometrické nelinearity bloků, respektování usmýknutí a separace bloků [24].

3.3. Nomogramy a tabulky

Využívají se především u jednodušších úloh a návrhů sklonu svahu. Podstatou těchto nomogramů a tabulek je dlouhodobá zkušenost z vyřešených případů, které byly řešeny například metodou mezní rovnováhy nebo metodou konečných prvků. Lze vycházet i ze stanovených norem, ve kterých jsou uvedeny doporučené hodnoty sklonů svahů [7].

4. Seznámení s lokalitou

4.1. Základní údaje

Zájmová oblast se nachází v Moravskoslezské kraji, katastrální území Doubrava u Orlové (kód k.ú. 631167). V mapě měřítka 1:25 000 se lokalita nachází na listu č. 15-441 Orlová. Zájmová oblast je situována v okrajové části obce. Povrch terénu je svažité, s nadmořskou výškou +232 až +268 m. n. m. Obrázek 11 zobrazuje letecký snímek, na kterém je zájmová oblast vyznačena červeně a šipkami je zakreslen směr sesuvného pohybu.



Obrázek 11: Letecký snímek s vyznačením zájmové oblasti a směru sesouvání (upraveno) [25].

4.2. Dosavadní prozkoumanost

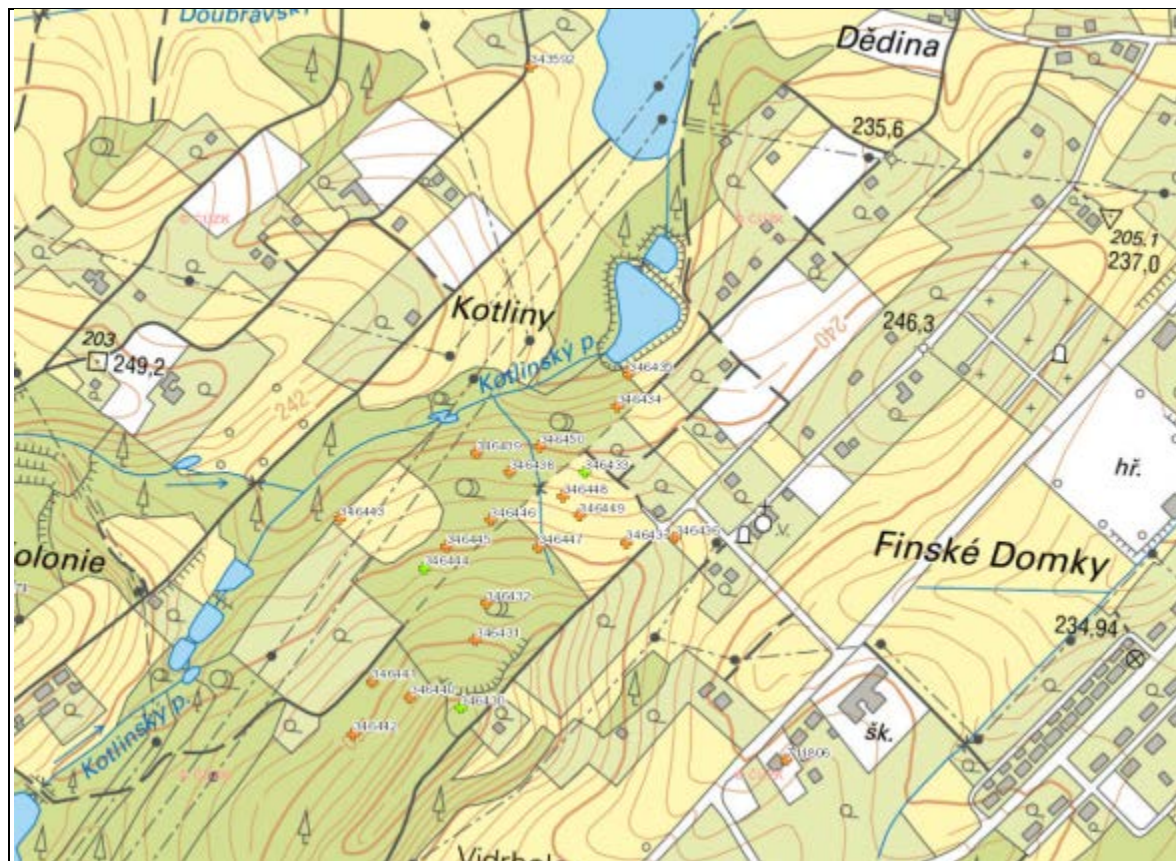
V minulosti bylo v zájmové oblasti realizováno mnoho geologických průzkumných prací. Informace o geologické prozkoumanosti lokality byly čerpány z databáze České geologické služby - Geofondu ČR a archívu firmy K-GEO s.r.o.

- Ryšávka J.: Doubrava - Vrchovec, posudek, Unigeo Ostrava, 4/1989
- Kovář, L., 1991: „Orlová – sesuv Vrchovec, závěrečná zpráva podrobného IG průzkumu“, Unigeo Ostrava. Česká geologická služba – Geofond, GF P074500 (V dané zprávě jsou zahrnuty veškeré předchozí průzkumy).
- Kovář, L., 1997: „Doubrava – mapování sesuvů, závěrečná zpráva“, K-GEO s.r.o., č.ú. 1997 0050.
- Kovář, L., 1997: „Doubrava – Vrchovec, závěrečná zpráva IG průzkumu“, K-GEO s.r.o., č.ú. 1998 0019.
- Kovář, L., 1998: „Další práce geologického průzkumu na Lokalitě: Doubrava- Vrchovec, závěrečná zpráva“, K-GEO s.r.o., č.ú. 1998 0017.
- Malucha, P., 2010: „Sesuv Vrchovec: Zhodnocení příčin nestability svahu, posudek“, Green Gas DPB, a.s.
- Kovář, L., 2010: „Doubrava – vrchovec, sesuv; předběžný IG průzkum sesuvného území“, č.ú. 2010 080

V rámci provedeného průzkumu firmou K-GEO v roce 2010 byly realizovány tyto geologické práce:

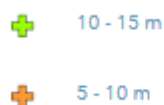
- Rekognoskace terénu
- Mapování projevů nestability
- Vrtné práce
- Geodetické zaměření
- Vzorkovací práce
- Laboratorní rozbory
- Rešeršní práce

Na obrázku 12 je mapa vrtné prozkoumanosti s vyznačenými archivními vrty z dostupného zdroje Geofondu. V dané lokalitě je jen několik vrtů, které dosahují hloubky 15 m, většina sond je navrtána do 10 m.



Obrázek 12: Vrtná prozkoumanost v dané oblasti [26].

Legenda k obrázku 12:



4.3. Historie mapování

Mapování na území České republiky má velmi dlouho tradici, která sahá hluboko do 19. století. Jako první tištěná geologická mapa je uváděna mapa Franze von Reipla z roku 1819. V současné době je regionálním geologickým výzkumem a mapováním pověřena v rámci zákona o geologických pracích (zákon č. 62/1988 Sb.) Česká geologická služba (ČGS) [27].

Nejstarší mapou, kterou archiv ČGS vlastní jako originál je mapa z roku 1835. Jedná se o tištěnou geologickou mapu Království českého a přilehlých oblastí, ručně vybarvenou. Geologické mapy z druhé poloviny 19. století, pokrývající celé území dnešní České republiky [28].

Pro zajímavost je na obrázku 13 vyobrazená rukopisná geologická mapa z druhé poloviny 19. století, která zobrazuje lokalitu Doubrava a byla základem pro odvozené mapy v měřítku 1 : 144 000 (Obrázek 14). V mapách je červeně vyznačeno přibližné místo svahu Vrchovec.



Obrázek 13: Rukopisná mapa v měřítku 1 : 28 800 z druhé poloviny 19. stol. (upraveno) [26].



Obrázek 14: Mapa Království českého v měřítku 1 : 444 000 (upraveno) [26].

Díky mapování, máme možnost porovnat změny v morfolologii terénu, hustotě zástavby, změny toků řek či místa jezer, rybníků a dalších vodních ploch. Na následujících obrázcích (15, 16, 17) jsou všechny tyto změny vidět. Jednou z výrazných změn je viditelné zvětšení vodní plochy v pravé dolní části fotografie. To je způsobeno nadměrným poklesem terénu, kdy dochází k vytvoření bezodtokých depresí a následné akumulaci srážkových a vystupujících podzemních vod.

Během uplynulých let došlo k dalším změnám například v pozemních komunikacích a inženýrských sítích. Mnoho původních zaniklo a dalších vzniklo.

Při porovnání obrázků 16 a 17, můžeme zjistit, že došlo k úbytku rodinných domků a jiné zástavby v místě sesuvného svahu, který je vyznačen zeleně. Poruchy byly tak markantní, že většina obyvatel oblast raději opustila nebo dostala z bezpečnostních důvodů příkaz k vystěhování.



Obrázek 15: Letecká mapa zájmové lokality z roku 1954 [29].



Obrázek 16: Letecká mapa zájmové lokality z roku 2003 (upraveno) [29].



Obrázek 17: Aktuální letecký snímek zájmové lokality (upraveno) [29].

4.4. Geomorfologické a geologické poměry

Dle geomorfologického členění území ČR náleží zájmová oblast:

- provincii - Západní Karpaty
- subprovincii - Vněkarpatské sníženiny (VIII)
- podsoustavě – Severní vněkarpatské sníženiny (VIII B)
- celku – Ostravská pánev (VIII B-1)
- okrsku – Orlovská plošina (VIII B-1-g)

Z regionálně-geologického hlediska náleží zájmové území k severomoravské části čelní předhlubně karpatských příkrovů. Hluboké předkvartérní podloží je v dané lokalitě budováno paleozoickými uloženinami svrchního karbonu, které jsou převážně tvořeny šedými kalovci, pískovci, slepenci a uhelnými slojemi. Předkvartérní podloží tvoří miocénní sedimenty charakteru vápnitých jílu a jílovců, podřízeně písky, štěrky a řasové vápence.

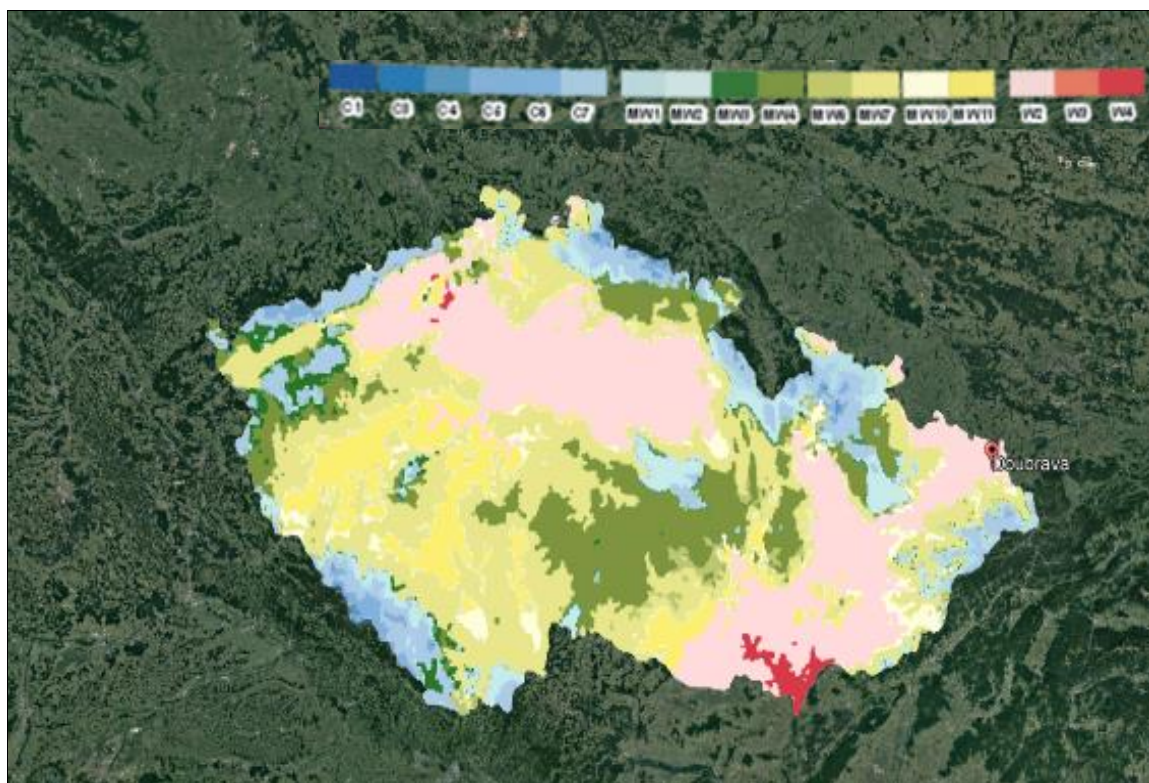
Kvartérní sedimenty jsou v oblasti Doubravy velmi pestře zastoupeny. Severovýchodně se nachází fluvialní nezpevněné nivní sedimenty charakteru hlín, jílu a písků. Západně se vyskytují glacigenní nezpevněné sedimenty, vzniklé ledovcovou činností. V údolí se rozprostírají deluviofluvialní sedimenty. Jsou reprezentovány převážně jíly s obsahem organických příměsí a rostlinných zbytků.

Na obrázku 18 je výřez z geologické mapy v měřítku 1: 500 000, který zobrazuje geologickou skladbu dané lokality a jejího okolí.

Z hydrogeologického hlediska leží zájmová lokalita v rajonu 2262 s názvem Ostravská pánev – karvinská část. Podzemní voda je v horninovém prostředí s volnou hladinou s chemizací $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-SO}_4$ a průlinovou propustností [30].

4.6. Klimatické poměry

Quittova klasifikace klimatu se řadí do konvenčních klasifikací, které hodnotí projevy klimatických poměrů. Quitt vymežil tři základní oblasti – teplá, mírně teplá a chladná. Tyto oblasti jsou dále děleny na jednotky. Podle této klasifikace klimatických oblastí náleží zájmové území do oblasti W2 charakterizované jako teplé [31].



Obrázek 19: Mapa klimatických oblastí ČR dle Quitta [31].

V následující tabulce č. 5 jsou uvedeny informace o klimatické oblasti W2, pro kterou je charakteristické teplé a velmi dlouhé léto. Zima v této oblasti je spíše kratší a teplejší. Sněhová pokrývka trvá pouze krátce.

Nejteplejším měsícem je červenec s průměrnou teplotou 18 až 19°C a naopak nejchladnějším měsícem je leden s průměrnou teplotou -2 až -3°C

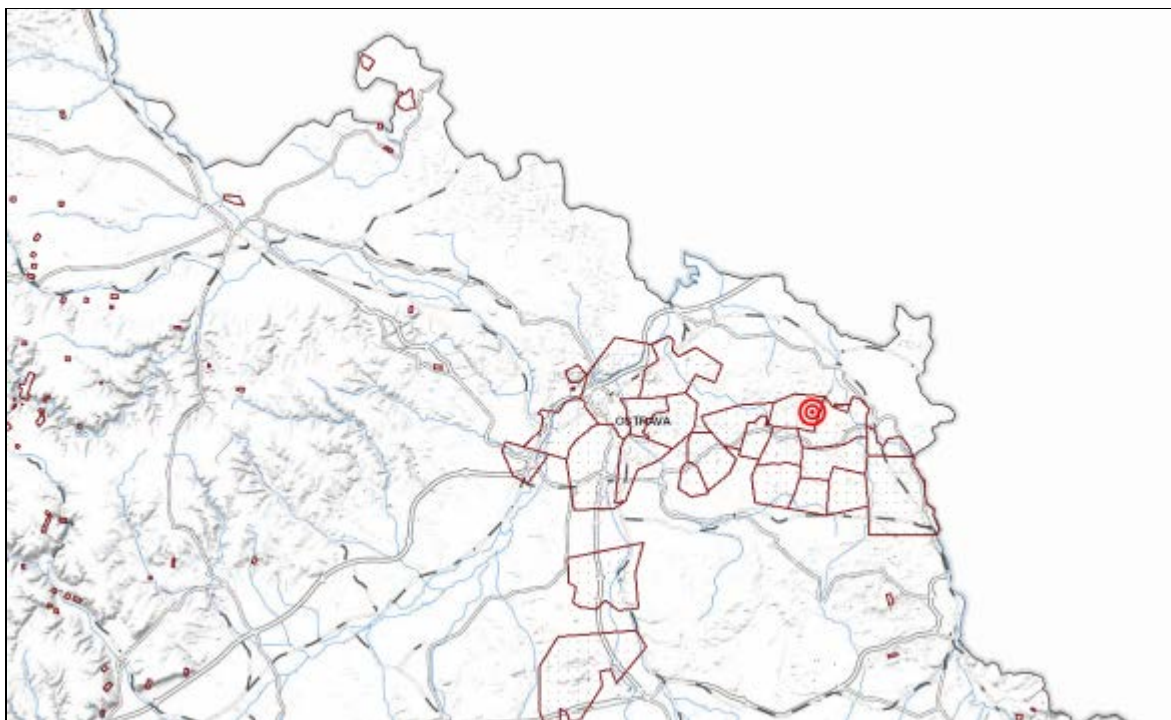
Tabulka 5: Klimatické charakteristiky oblasti W2 [31].

Klimatická oblast W2	
Počet letních dnů	50-60
Počet dnů s průměrnou teplotou 10°C a více	160-170
Počet mrazových dnů	100-110
Počet ledových dnů	30-40
Průměrná teplota v lednu	-2 až -3°C
Průměrná teplota v červenci	18 až 19°C
Průměrná teplota v dubnu	8 až 9°C
Průměrná teplota v říjnu	7 až 9°C
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	90-100
Srážkový úhrn ve vegetačním období	350-400 mm
Srážkový úhrn v zimním období	200-300 mm
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	40-50
Počet zatažených dní	120-140
Počet jasných dní	40-50

4.7. Seismické poměry a poddolování

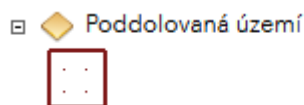
Zhodnocení seismického zatížení zájmové oblasti bylo provedeno dle normy ČSN EN1998-1 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 1: Obecná pravidla, seismická zatížení a pravidla pro pozemní stavby [32]. Podle mapy seismických oblastí ČR, uvedené ve výše citované normě, platí pro zájmové území hodnota referenčního zrychlení základové půdy podloží $a_{gR} = 0,07g$. Dále lze podle tabulky 3.1 Typy základových půd v článku 3.1.2 této normy, klasifikovat základové podmínky jako podloží třídy B – sedimenty velmi ulehlého písku, štěrk nebo velmi tuhý jíl v tloušťce alespoň několik desítek metrů s mechanickými vlastnostmi rostoucími s hloubkou. Průměrná rychlost šíření smykových vln $v_{S,30}$ 360-800 m.s⁻¹.

Z důlního hlediska je zájmové území situováno ve východní části Dolu Doubrava a západně od hranice Dolu ČSA v Karviné. Vzhledem ke skutečnosti, že se lokalita nachází na poddolovaném území, což je vidět na obrázku 20, je v této oblasti možné pozorovat následky těžby.



Obrázek 20: Mapa poddolovaných území (upraveno) [26].

Legenda k obrázku 20:



Dobývání uhlí, jako každé nerostné suroviny, povrchovým i hlubinným způsobem zanechává na krajině následky, které zhoršují podmínky pro stávající ekosystémy a vytvářejí ekosystémy nové. Dlouhodobá exploatace uhlí se projevuje poklesy původního povrchu terénu, vznikajícími zavalování nadloží do vytěžených prostor. Dalším projevem je vznik terénních novotvarů antropogenního původu nad terénem, které mají původ jednak v ukládání hlušin na odvalech, jednak v deponování flotačních hlušin a uhelných kalů do odkališť situovaných obvykle do míst největších poklesů [33].

Dalším dopadem hornické činnosti na životní prostředí je šíření emisí metanu z důlních výdušných větrů a metan uvolněný z těženého uhlí. Významnou zátěž pro životní prostředí představují čerpané slané důlní vody, které jsou povrchovými toky odváděné mimo území ČR [33].

Důlní vlivy se v zájmovém prostoru negativně projevují již desítky let a byly bezprostřední příčinou asanace zhruba 29 domků v původní zástavbě. Důlní činnost měla

4.8.Sesuvné projevy v minulosti

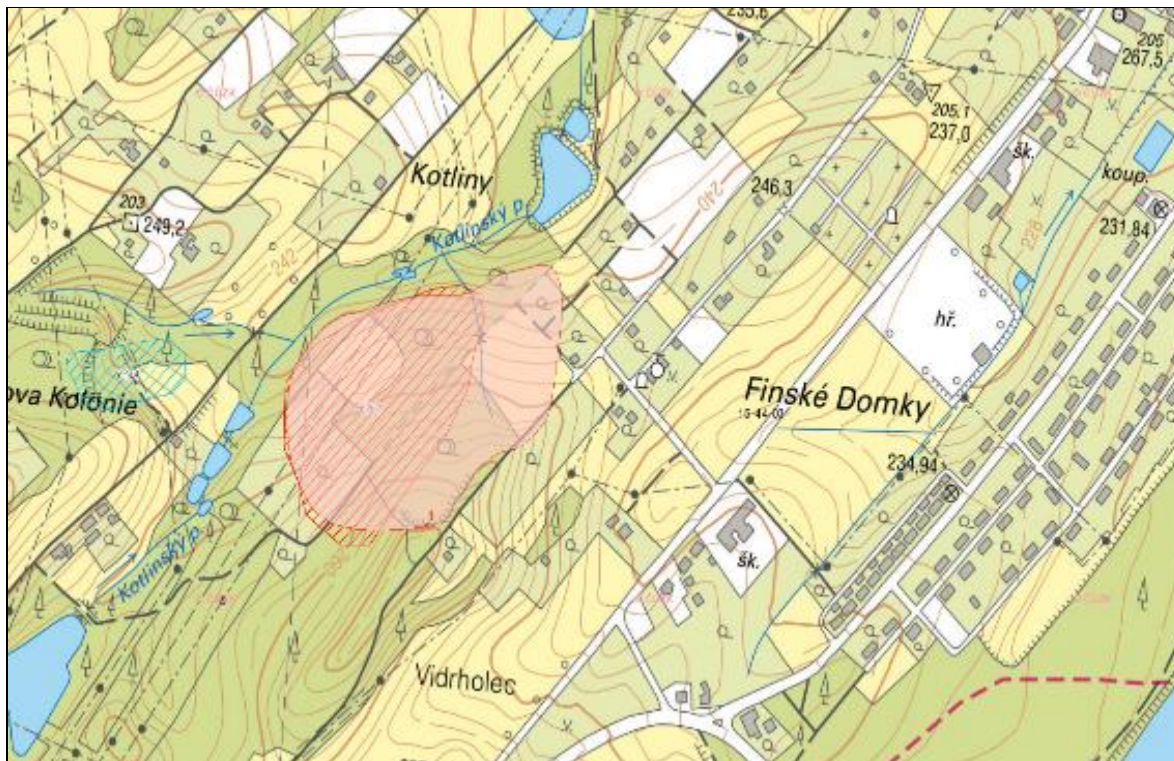
Obec Doubrava se nachází v okrese Karviná v Moravskoslezském kraji a je jednou z mnoha lokalit, která se rozvíjela díky objevu zásob černého uhlí. Právě těžba výrazně ovlivnila geomorfologii území. Poddolování spolu s výraznými srážkami zavinilo řadu sesuvů a mnoho z nich je stále aktivní. Na obrázku 21 lze pozorovat řadu oblastí ohrožených svahovými nestabilitami.



Legenda k obrázku 21 a 22:



Zájmové území je na mapovém serveru Geofondu ČR registrováno jako aktivní sesuvné území s číslem 6202, vyznačené na obrázku 22 červenou šrafou. U tohoto evidovaného území došlo v průběhu času ke značnému zvětšení plochy, které je v mapě vyznačeno růžově.



Obrázek 22: Mapa svahových nestabilit [26].

První autorkou nalezené zmínky o vzniku sesuvné aktivity na svahu Vrchovec pochází z roku 1985 a v následujících letech docházelo k jejich intenzivním projevům. V letech 1990 - 1991 byl proveden podrobný geologický průzkum a osazeno 13 stabilizovaných bodů pro zaznamenávání výškopisných a polohopisných změn. V roce 1995 začaly terénní úpravy svahu, provedení drenážního příkopu a osazení svahu vhodnými rostlinami, to vše za cílem stabilizace. Po dokončení v roce 1997, ještě před jejich kolaudací a před červencovými povodněmi, došlo k sesuvným aktivitám, které byly následnými povodněmi urychleny a rozšířeny.

K podobné situaci došlo i v době extrémních srážek v květnu 2010, ačkoliv jejich výše nedosahovala hodnot z roku 1997. Došlo k oživení smykové plochy a urychlení sesuvné aktivity a z provedeného geodetického zaměření odlučné plochy bylo zjištěno její rozšíření až za horní komunikaci. Vlivem sesuvných pohybů došlo k poškození inženýrských sítí vedoucích podél komunikace. Pohyby byly tak silné, že byla nařízena demolice posledních dvou zbývajících rodinných domů s č.p. 727 a 586.

4.9.Geotechnický monitoring

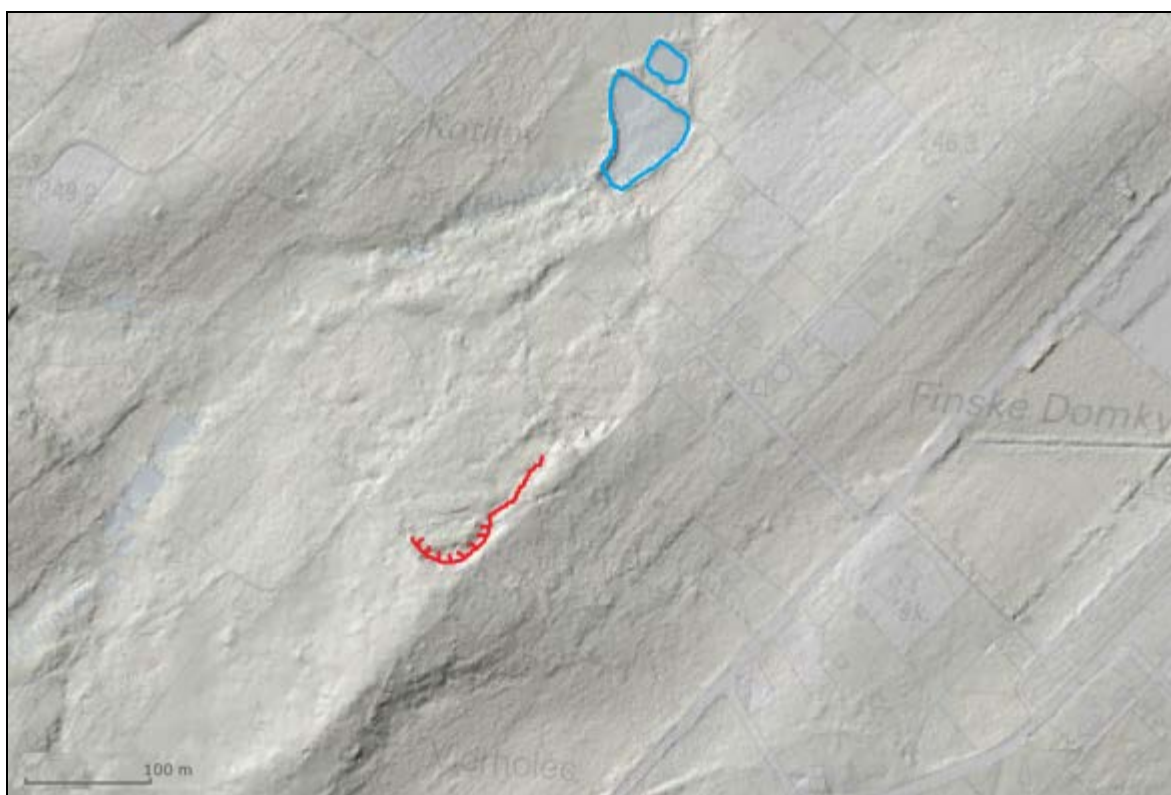
V lokalitě Vrchovec v současné době neprobíhá žádný geotechnický monitoring. V minulosti byly sledovány výškopisné a polohopisné změny pomocí 13 stabilizovaných bodů, které byly sledovány 1 – 2x ročně do roku 1994. Většinu pozemků v místě sesuvu koupila firma OKD, a.s., která v místě pravděpodobně prováděla měření a monitoring, výsledky bohužel nejsou přístupné.

5. Zhodnocení stávajícího stavu

Zájmová oblast je v databázi Geofondu ČR registrována jako sesuvné území a řadí se do III. kategorie ohrožení. Rozměry svahového tělesa dosahují cca 300 m po vrstevnici a 250 m po spádnicí. Generelní směr sklonu svahu a zároveň svahového pohybu je směrem na sever.

Pro sestavení stabilitní analýzy svahu Vrchovec byla v zájmové oblasti provedena rekognoskace terénu. Při prohlídce byly sledovány trhliny, odlučná hrana a jiné projevy nestability svahu. S pomocí 5G modelu mapování a archivních sond byl vytvořen model území a charakteristický řez. Pro posouzení stability stávajícího stavu byl využit software Plaxis 2D.

Na obrázku 23 je digitální model reliéfu České republiky 5. generace, který zobrazuje zemský povrch. Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území ČR. V tomto obrázku je červenou barvou zaznačena odlučná hrana sesuvu a modrou barvou pro orientaci v mapě je lemována vodní plocha nacházející se pod daným svahem.



Obrázek 23: Digitální model reliéfu 5G (upraveno) [26].

5.1.Rekognoskace terénu

Během prohlídky zájmové lokality a jejího širšího okolí byly zjištěny projevy svahové nestability terénu, které svědčí o proběhlých deformacích v minulosti. Některé z nich, jsou zřejmě novějšího data, což ukazuje na fakt, že sesuv je stále aktivní. Důraz byl při prohlídce kladen především na liniová díla, sloupy elektrického vedení a vzrostlou vegetaci. V celé oblasti odlučné hrany a těle sesuvu se vyskytují náletové stromy a rozsáhlé zatravnění. Vozovku, která se nachází v místě odlučné hrany, z části pohltil sesuv z roku 2010 a na mnoha místech byly viditelné výrazné trhliny (Obrázek 24).



Obrázek 24: Vlevo: Vozovka porušená sesuvem. Vpravo: Výrazná trhlina na vozovce.

Z původní zástavby, již nic nezbylo. V okolí se nachází pouze pár zahrádek s velmi jednoduchými stavbami. Na pozemcích byly viditelné terénní vlny a boulení. Některé sloupy byly vychýlené a komunikace, které se zde nacházely, jsou buďto poškozené, nebo se v průběhu let úplně vytratily. V celém okolí došlo k výrazným změnám reliéfu terénu. (Obrázek 25)



Obrázek 25: Vychýlení sloupu v důsledku sesuvu.

Na obrázku 26 je fotografie spodní části svahu, na které je vidět, jak sesouvání postupem času překrývá bývalou komunikaci. Stromy jsou díky svahovým pohybům mírně nakloněny. Čelo sesuvu spočívá před korytem Kotlínského potoka, který navazuje na Kotlínský rybník. Tato vodní plocha se podle poznatků z minulosti stále zvětšuje a dá se tedy předpokládat, že dochází k neustálým přítokům důlních vod.



Obrázek 26: Komunikace postižená sesuvem v patě svahu.

6. Analýza příčin nestability a predikce dalšího vývoje

Pro analýzu příčin nestability svahu Vrchovec, se jako hlavní iniciační vlivy předpokládají především účinky poddolování, které se na stavu svahu podílejí a nepříznivé hydrogeologické poměry - extrémní zvodnění zemin ve svahu. Pro podrobnější analýzu byla uvažována hladina podzemní vody v různých výškových úrovních. Pro výpočet a matematické modelování byl využit software Plaxis, který je popsán v následující kapitole.

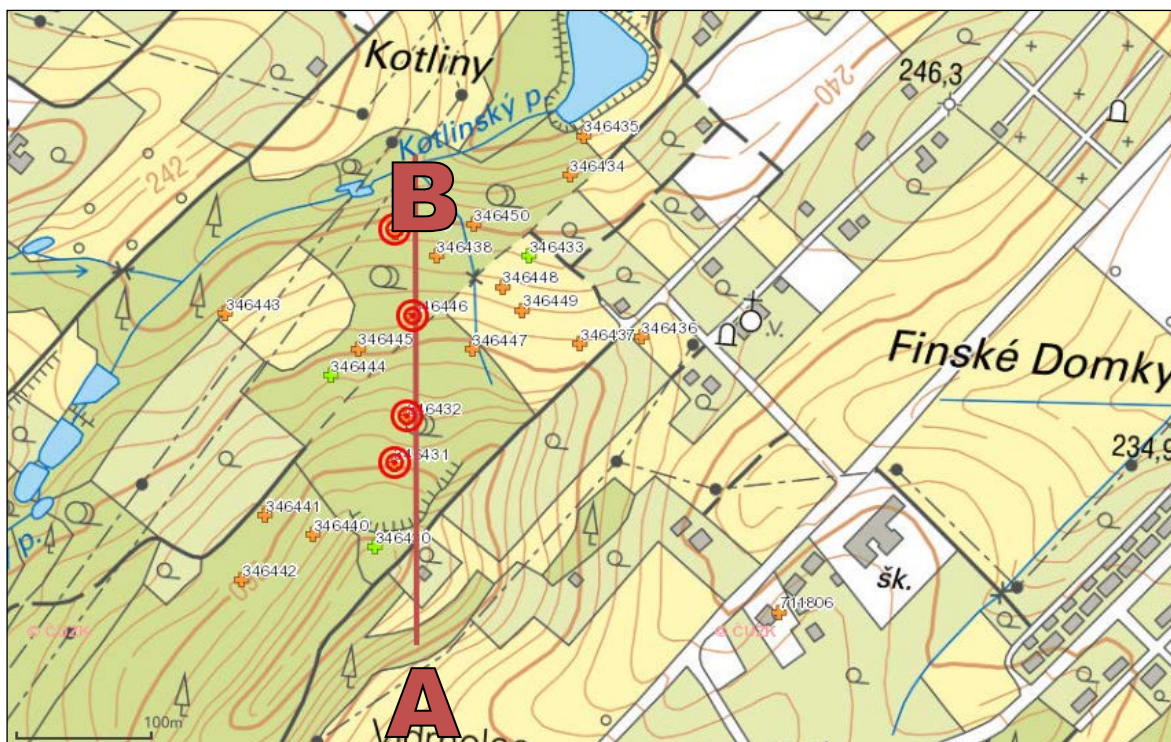
6.1. Výpočtový software Plaxis

Program Plaxis je systém, určený pro deformační a stabilitní analýzu v geotechnickém inženýrství a mechanice hornin. Tato celosvětově používaná aplikace je založena na metodě konečných prvků a je vybavena širokou škálou pokročilých funkcí pro modelování různorodých geotechnických problémů. Nabízí řešení rovinných i prostorových úloh [34].

Metoda konečných prvků patří mezi metody numerické a variační. Převádí původní parciální diferenciální rovnice na řešení soustavy lineárních algebraických rovnic, zjednodušuje úlohu. Kontinuální oblast se rozdělí na dílčí podoblasti, tzv. konečné prvky, které spolu souvisejí v uzlových bodech. Nejčastějším tvarem jsou trojúhelníky. Ty se nesmějí překrývat, úhly uvnitř nesmějí být příliš ostré a mají společný pouze vrchol nebo celou stranu. V místech očekávaných velkých deformací a změn napětí, by se měla síť zhustit. Hodnoty hledané funkce jsou základními neznámými v uzlech. Aproximační funkce musí jednoznačně definovat stav posunutí uvnitř každého konečného prvku. Vyjádří se poměrná přetvoření a posuny na prvku pomocí uzlových parametrů a příslušných bázevých funkcí. Následně se vyjádří složky napětí, funkcionál potenciální energie prvku a stanoví se lokální matice tuhosti, z kterých vzniká celková pásová matice tuhosti K a nakonec výsledná soustava rovnic. Na základě stanovených posunutí se stanoví napětí [35].

6.2. Tvorba modelu

Na základě archivních sond byl umístěn charakteristický řez, který probíhá tělesem svahu po spádnici v délce 356 m. Na obrázku 27 je červenou čarou vyznačený průběh řezu a 4 archivní sondy, ze kterých vychází geologická skladba území.

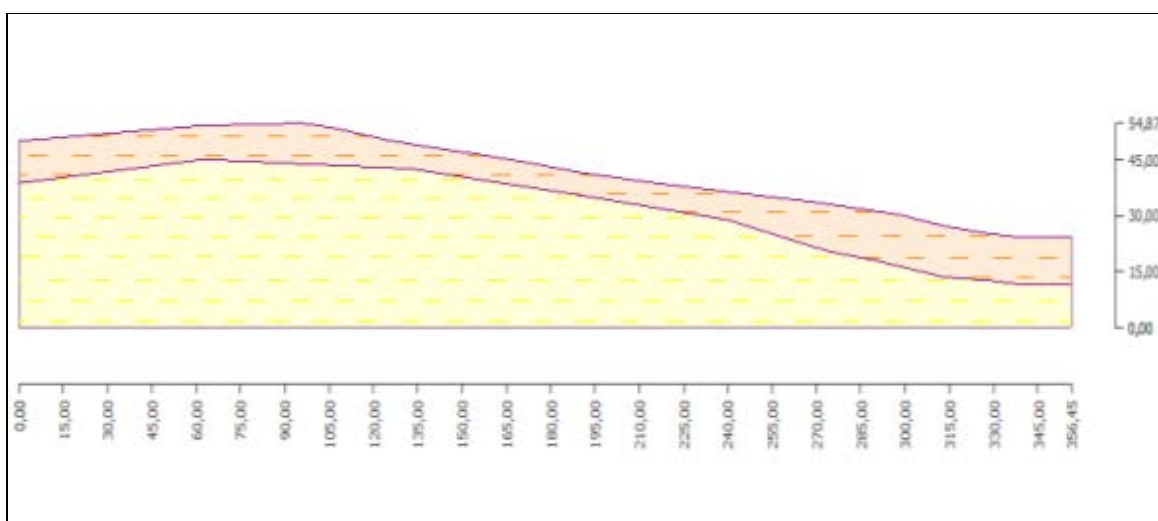


Obrázek 27: Umístění charakteristického řezu a vyznačení archivní sond (upraveno) [26].

Geologický model byl sestaven pomocí dat z archivních sond, které byly provedeny v první polovině roku 1991. Jedná se o průzkumné vrtý do hloubky cca 10 metrů. Skladba těchto vrtů je uvedena v příloze 1.

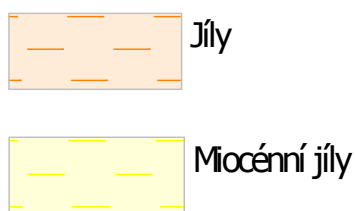
Svrchní humózní vrstva o mocnosti maximálně 30 cm, která je tvořena tmavě hnědou jílovitou hlinou s kořenovými zbytky, byla ve výpočtu zanedbána, jelikož nemá výrazný vliv na stabilitu celku. Pro účel výpočtu stability svahu byl litologický profil zjednodušen na dvě jílové vrstvy. Horní vrstvu tvoří převážně jíly šedozelené barvy, silně plastické, tuhé až měkké konzistence. Místy se objevují jíly žlutohnědé až rezavé s křemennými valouny do 3 cm. Druhou vrstvu reprezentují miocénní jíly a místy i jílovce, namodralé šedé barvy, tuhé až pevné konzistence. Tyto jíly jsou silně vápnité se střípkovitým rozpadem. Po celé výšce navrtaných profilů se objevují hojné organické zbytky rostlin a dřevní úlomky hnědé až černé barvy. To ukazuje na skutečnost, že svah je aktivní a v této lokalitě již proběhlo několik sesuvů.

Na obrázku 28 je pravděpodobný schématický geologický řez, který vzhledem k malé dostupnosti aktuálních dat, nemusí zcela odpovídat reálné situaci. Tento řez byl převeden do softwaru Plaxis 2D, ve kterém bylo zadáno rozhraní modelu, fyzikální, pevnostní a přetvárné parametry zemín. Následně byla vygenerována síť konečných prvků a zadány jednotlivé fáze výpočtu. Poté probíhaly statické výpočty posouzení stability svahu ve třech modelových situacích, lišících se výškou hladiny podzemní vody. Cílem bylo stanovit stupeň stability, zjistit polohy smykových ploch a vliv HPV na stabilitní situaci svahu.



Obrázek 28: Schématický geologický řez.

Legenda k obrázku 28:



Při sestavování matematického modelu byly využity pevnostní a přetvárné charakteristiky zemín, které byly zjištěny z archivních vrtů a následně byly dle situace upraveny tak, aby odpovídaly reziduálním vlastnostem jílu. Vstupní parametry obou vrstev jsou shrnuty do následujících tabulek 6 a 7:

1. Horní vrstva jílu

Tabulka 6: Geotechnické charakteristiky jílu horní vrstvy.

Veličina	Parametr	Jednotka	Hodnota F6-F8
Objemová hmotnost zeminy	ρ_n	(Mg.m ⁻³)	2,05
Objemová hmotnost saturované zeminy	ρ_{sat}	(Mg.m ⁻³)	2,20
Edometrický modul	E_{oed}	(MPa)	7,0
Reziduální úhel vnitřního tření	$\varphi_{ef,r}$	(°)	8
Reziduální soudržnost	$c_{ef,r}$	(kPa)	1
Poissonovo číslo	ν	(-)	0,3

2. Spodní vrstva miocéních jílu

Tabulka 7: Geotechnické charakteristiky miocéních jílu spodní vrstvy.

Veličina	Parametr	Jednotka	Hodnota F6-F8
Objemová hmotnost zeminy	ρ_n	(Mg.m ⁻³)	1,95
Objemová hmotnost saturované zeminy	ρ_{sat}	(Mg.m ⁻³)	2,10
Edometrický modul	E_{oed}	(MPa)	9,3
Reziduální úhel vnitřního tření	$\varphi_{ef,r}$	(°)	12
Reziduální soudržnost	$c_{ef,r}$	(kPa)	1
Poissonovo číslo	ν	(-)	0,4

6.3. Výsledný model

6.3.1. Požadované hodnoty stupně stability

Řešení vycházelo z reziduálních parametrů smykových pevností, které již nebyly dále upraveny dalšími součiniteli ($\gamma_m = 1,0$).

Stabilita svahu je charakterizována stupněm stability F_s . Vzhledem k použitým parametrům a charakteru svahu je možno z dlouhodobého hlediska považovat za vyhovující: $F_s \geq 1,3$ pro metodu konečných prvků.

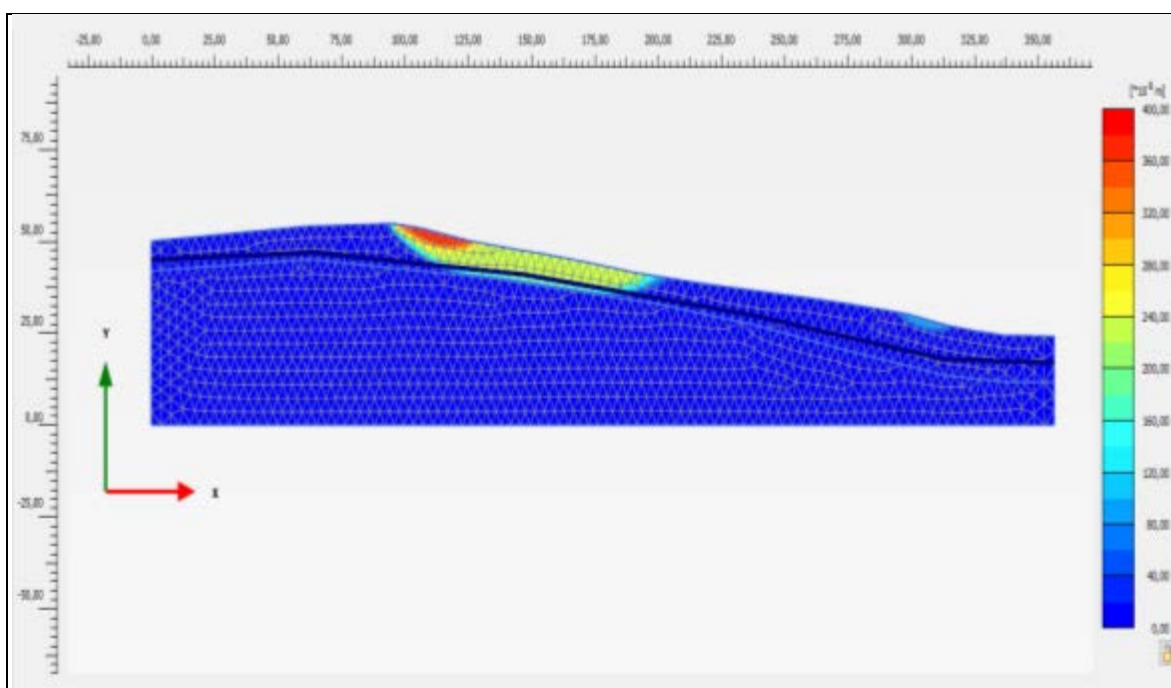
6.3.2. Dosažené výsledky

Výpočetní model byl vytvořen pro tři situace, které se od sebe lišily polohou hladiny podzemní vody:

1. HPV na rozhraní vrstev – stávající stav
2. Zvýšená HPV – oproti stávajícímu stavu
3. Snížená HPV – oproti stávajícímu stavu

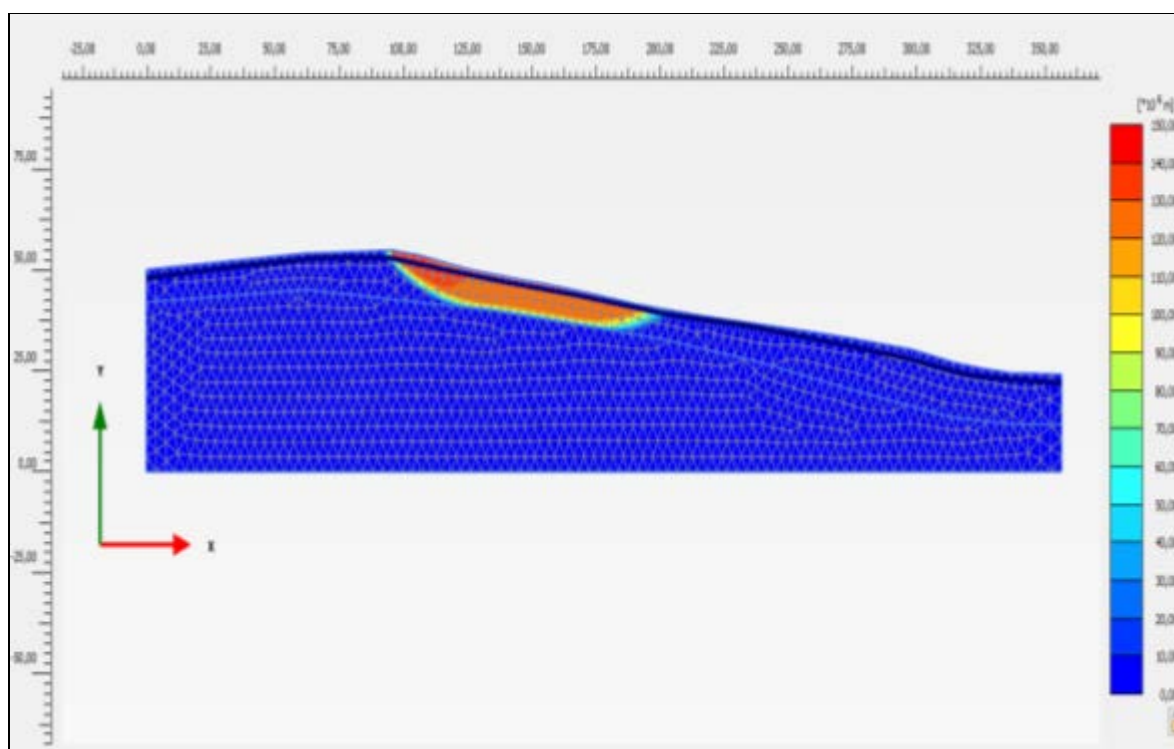
Ve variantě č.1 je hladina podzemní vody uvažována jako běžná, a to v hloubce cca 5 m pod povrchem terénu na rozhraní dvou jílových vrstev. Výška byla přibližně stanovena na základě výšek HPV v archivních sondách.

Na následujícím obrázku 29 je vyobrazena smyková plocha stávajícího stavu. Stupeň stability je 1,008, což poukazuje na skutečnost, že svah se nachází na hraně labilní rovnováhy. Místo znázorněné červenou barvou je považováno za nejkritičtější. Hrana smykové plochy zobrazené v řezu odpovídá skutečné odlučné hraně, ale ve skutečnosti je sesuv delší a jeho čelo dosahuje až ke Kotlínskému potoku.



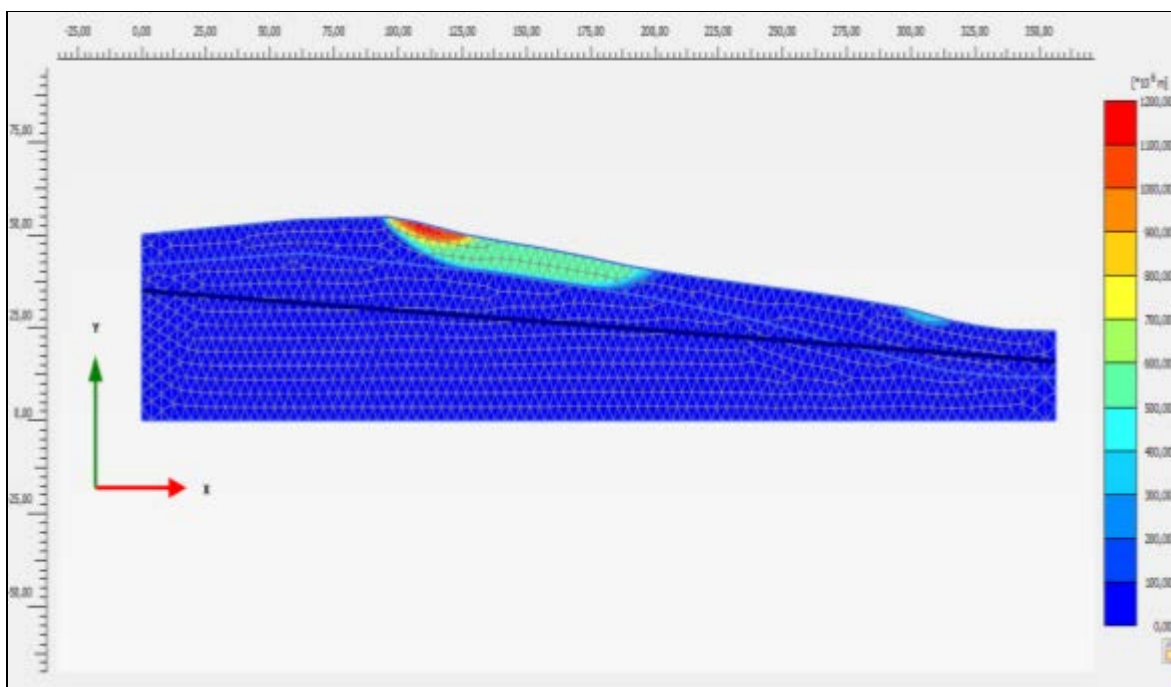
Obrázek 29: Smyková plocha - stávající stav HPV, stupeň stability 1,008.

Ve variantě č. 2 je hladina podzemní vody zvýšená oproti stávajícímu stavu a nachází se v hloubce 1 – 2 m pod povrchem terénu. Stupeň stability pro tento případ vyšel 0,9573 – což znamená iniciaci svahového pohybu. Tento stupeň stability je o něco nižší než v předchozí variantě, z toho důvodu můžeme předpokládat, že zvýšení HPV vlivem např. výraznějších srážek má negativní vliv na stabilitu svahu. Důkazem je i obrázek 30, znázorňující průběh smykové plochy, u které je vidět rozšíření kritického místa.



Obrázek 30: Smyková plocha - zvýšená hladina podzemní vody, stupeň stability 0,957.

V poslední variantě č.3 se hladina podzemní vody uvažuje v patě svahu cca 5 metrů pod terénem, v koruně svahu v hloubce okolo 15 metrů. Toto řešení má za úkol simulovat odvodnění, což by mohl být jeden ze způsobů sanace dané lokality. Stupeň stability je v tomto případě 1,019. Takový stupeň stability je nedostačující a není výrazně odlišný od stávajícího stavu. Dá se tedy předpokládat, že pouze snížení hladiny podzemní vody není pro stabilizaci svahu dostačující. V obrázku 31 je vidět mírné zlepšení v místě smykové plochy. Není to ale nic, co by řešilo situaci týkající se zabezpečení svahu.



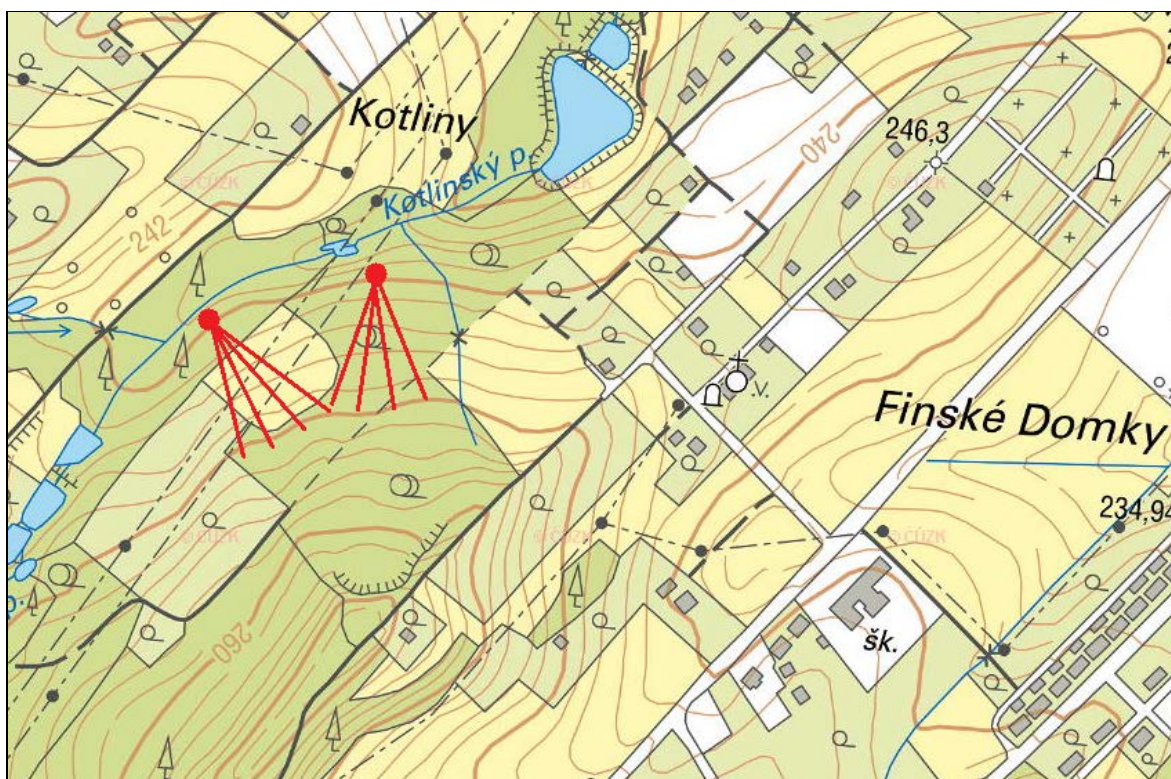
Obrázek 31: Smyková plocha - snížená hladina podzemní vody, stupeň stability 1,019.

7. Návrh stabilizačních opatření

Vzhledem ke zjištěným nepříznivým hodnotám stupně stability ve výpočetním modelu, je vhodné navrhnout varianty stabilizačních opatření, které by zajistily zlepšení stabilitního stavu svahu. Pro daný svah jsou uvažovány tyto možnosti: hloubkové odvodnění pomocí žebírek a odvodňovacích vrtů, pilotová stěna s přítěžovací lavicí nebo tzv. nulová varianta. V následujících kapitolách budou tyto varianty sanace podrobněji rozebrány.

7.1. Odvodnění pomocí žebírek a odvodňovacích vrtů

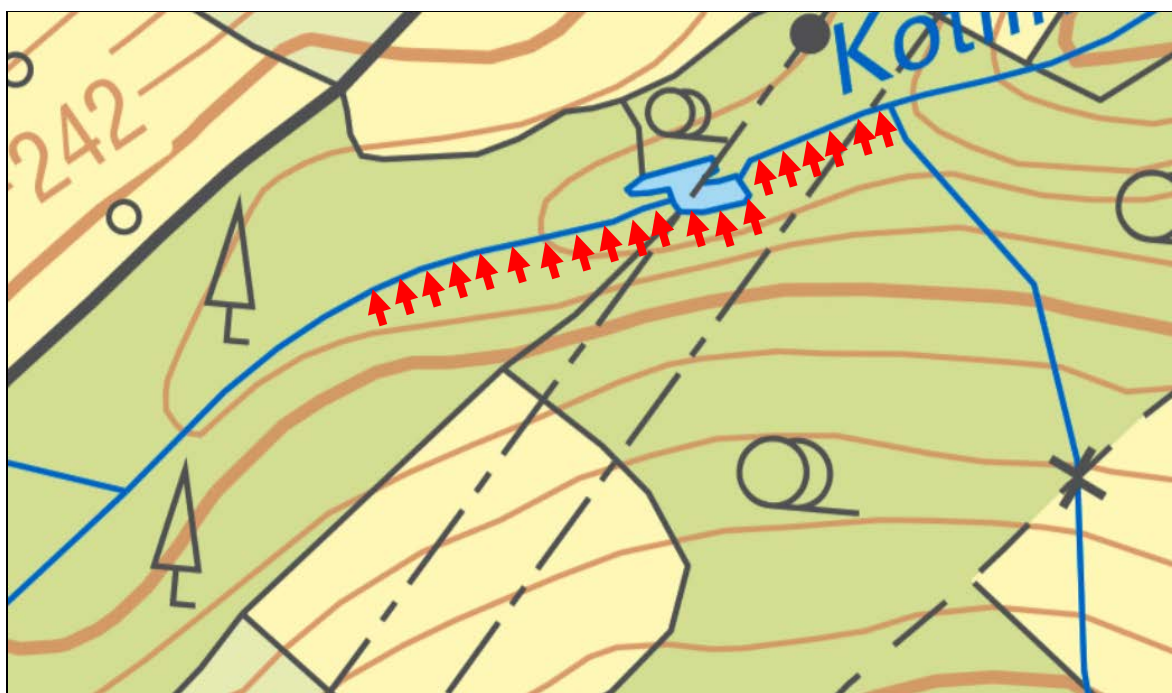
Jelikož byla ve výpočetním modelu zjištěna nepříznivá hodnota stupně stability, jeden z návrhů sanačního opatření spočívá v provedení hloubkového odvodnění zasaženého území. Pro tyto účely bude navržen systém drenážních žebírek a odvodňujících horizontálních vrtů vedených ze dvou vrtných hnízd. Tato hnízda jsou umístěna v blízkosti Kotlinského potoka, tak jak jsou vyznačena na obrázku 32. Díky těmto vrtům dojde k odvodňování prostoru v patě svahu s následkem snížení pórových tlaků a zlepšení koheze materiálu.



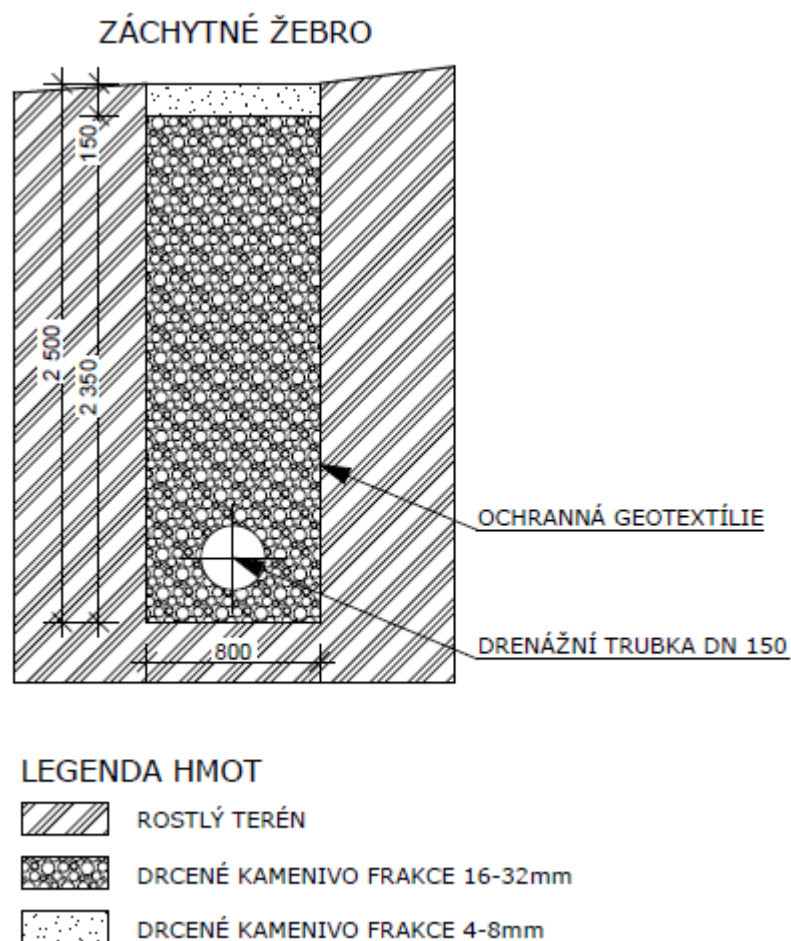
Obrázek 32: Návrh odvodňovacích vrtů a vrtných hnízd (upraveno) [26].

Horizontální odvodňovací vrty (HOV) jsou navrženy v délce 100 m. Z každého hnízda budou vyvrtány 4 horizontální vrty se vzájemným odkloněním 15°. V místě hnízda, je nutné vybudovat pracovní plošinu pro osazení vrtné soupravy. Plocha bude zpevněná v tloušťce 20 cm kamenivem. Vytěžená kubatura zeminy bude ponechána poblíž a bude použita pro zpětný zásyp. Vrty z obou vrtných hnízd budou mít sklon 5°. Profil výstroje vrtů tvoří ocelová trubka o průměru 90/4 mm s perforací. Výtoky jednotlivých vrtných hnízd budou svedeny do nejbližšího odvodňovacího žebra, případně do Kotlínského potoka.

Navržená drenážní žebra v počtu 20 kusů v čele sesuvu v délce 125 metrů budou vedena ve směru spádnice odvodňovaného svahu v osových vzdálenostech 5,8 metrů a budou ukončena výústními objekty v toku Kotlínského potoka. Délka každého žebra je 10 m a šířka 0,8 m. Na dně každého žebra bude umístěno drenážní potrubí DN 150. Na obrázku 33 jsou žebra znázorněna červenou barvou a na obrázku 34 je schématický řez záchytným žebrem. Zhotovení těchto žeber bude provedeno pomocí rypadla.



Obrázek 33: Návrh 20 odvodňovacích žeber (upraveno) [26].



Obrázek 34: Řez záchytným žebrem.

7.2. Pilotová stěna s přítěžovací lavicí

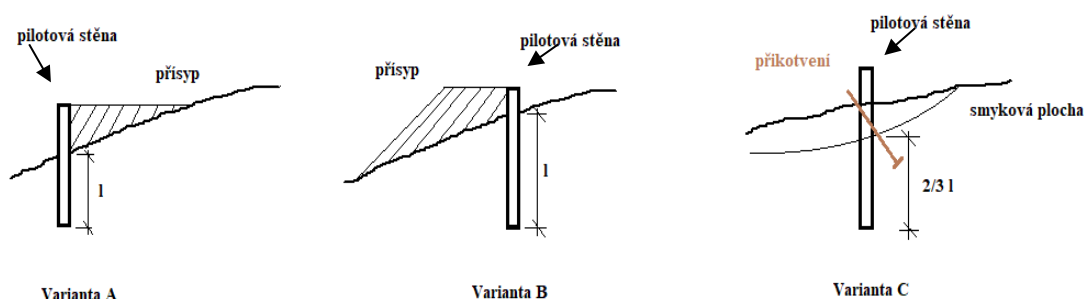
V této kapitole jsou popsány různé možnosti sanace, a to pomocí zbudování pilotové stěny, vytvoření přítěžovací lavice nebo kombinací těchto dvou variant.

Pro výběr koncepce s pilotovou stěnou je důležité vybrat optimální místo a rozhodujícím faktorem jsou hloubky smykových ploch. Její situování je v dolní části svahu. Pro její vybudování je nutné připravit zpevněnou pracovní plošinu minimální šířky 9 metrů. Před zahájením vrtání musí být v prostoru stavby vytyčeny všechny inženýrské sítě a podzemní překážky. Piloty přibližně kopírují patu stávajícího svahu a jsou navrženy s průměrem profilu 900 mm, délky 10 m. Provádění pilot se předpokládá s pažením a jsou navrženy z betonu tř. C 25/30 a z oceli S235. V hlavách pilot navrhuji převážkový trám, který ztužuje pilotovou stěnu jako celek. Pro zvýšení odolnosti ve smyku je možné pilotovou stěnu zakotvit např. pomocí pramencových kotev.

Přítěžovací lavice je navržena do výšky 3 metry a její délka je zvolena dle délky sesuvu v patě svahu s přesahem na každou stranu pěti metrů. Z toho plyne délka 100 metrů. Zhotovena by byla pravděpodobně ze zeminových materiálů vhodného granulometrického složení. Tuto metodu je vhodné kombinovat s jinou metodou např. s odvodněním či právě pilotovou stěnou.

Na obrázku 35 je schématické zobrazení tří možností, kam umístit pilotovou stěnu. V případě A je stěna umístěna při okraji Kotlínského potoka a přítěžovací lavice je zbudována před pilotovou stěnou směrem do svahu. Tím dojde k celkovému přetížení paty svahu. V případě B je stěna umístěna před přítěžovací lavicí, které má opěrnou funkci. V průběhu času, ale může docházet k naklánění pilotové stěny vlivem tlaku zeminy, proto je vhodné stěnu řádně přikotvit. U možnosti C je pilotová stěna umístěna uprostřed svahu. U tohoto řešení je nutné znát hloubku smykové plochy a piloty zbudovat do takové hloubky, aby se dvě třetiny délky pilotové stěny nacházely pod smykovou plochou. V tomto řešení je nezbytné kotvení. Varianta C je ekonomicky i technologicky velmi náročná a je nutné provést detailní inženýrsko-geologický průzkum.

Pro přesné určení polohy pilotové stěny je nutný monitoring svahu po dobu alespoň jednoho roku.



Obrázek 35: Varianty umístění pilotové stěny.

7.3. Nulová varianta

Pod tímto pojmem rozumíme ponechání sesuvu v současném stavu. To znamená neprovádět žádná sanační opatření. I přes ukončenou těžbu na blízkém dole Doubrava je pravděpodobnost možnosti rozšiřování deformací stále vysoká. Protože se ale v oblasti nenachází žádná zástavba, která by byla ohrožena sesuvnými pohyby, je tato varianta rozhodně přípustná a ekonomicky nejvýhodnější.

8. Závěrečná analýza výsledků řešení

Tato kapitola je rozdělena na dvě části, které zahrnují shrnutí návrhů sanací a následné využití a navržení geotechnického monitoringu v místě sesuvného území.

8.1. Shrnutí návrhů sanací

Pro celý svah bylo zpracováno několik variant sanačních opatření. Účinnost jednotlivých sanací je nutné dále ověřit. Vzhledem k omezeným vstupním parametrům, nemusí být všechny navržené druhy sanací ideálním řešením. Pro skutečný návrh a vypracování stabilitního opatření, by bylo nutné celou oblast geodeticky zaměřit, provést podrobný geologický průzkum. Nutné by bylo zřízení několika vrtaných sond, stanovení geologických profilů a důkladné sledování svahu v delším časovém úseku pomocí geotechnického monitoringu. Všechny tyto činnosti by byly velmi finančně a technicky náročné, ale jsou nezbytné, v případě zpracování návrhu pro stabilizaci tak rozsáhlého sesuvného území jako je svah Vrchovec v Doubravě. Vybudování sanačních opatření by navýšilo stupeň stability a umožnilo zastabilizovat velkou část území.

8.2. Využití geotechnického monitoringu

Pro získání informací o stavu sesuvu před i po realizaci stabilizačních konstrukcí, doporučuji provést geotechnický monitoring tak, aby bylo pokryto celé zájmové území.

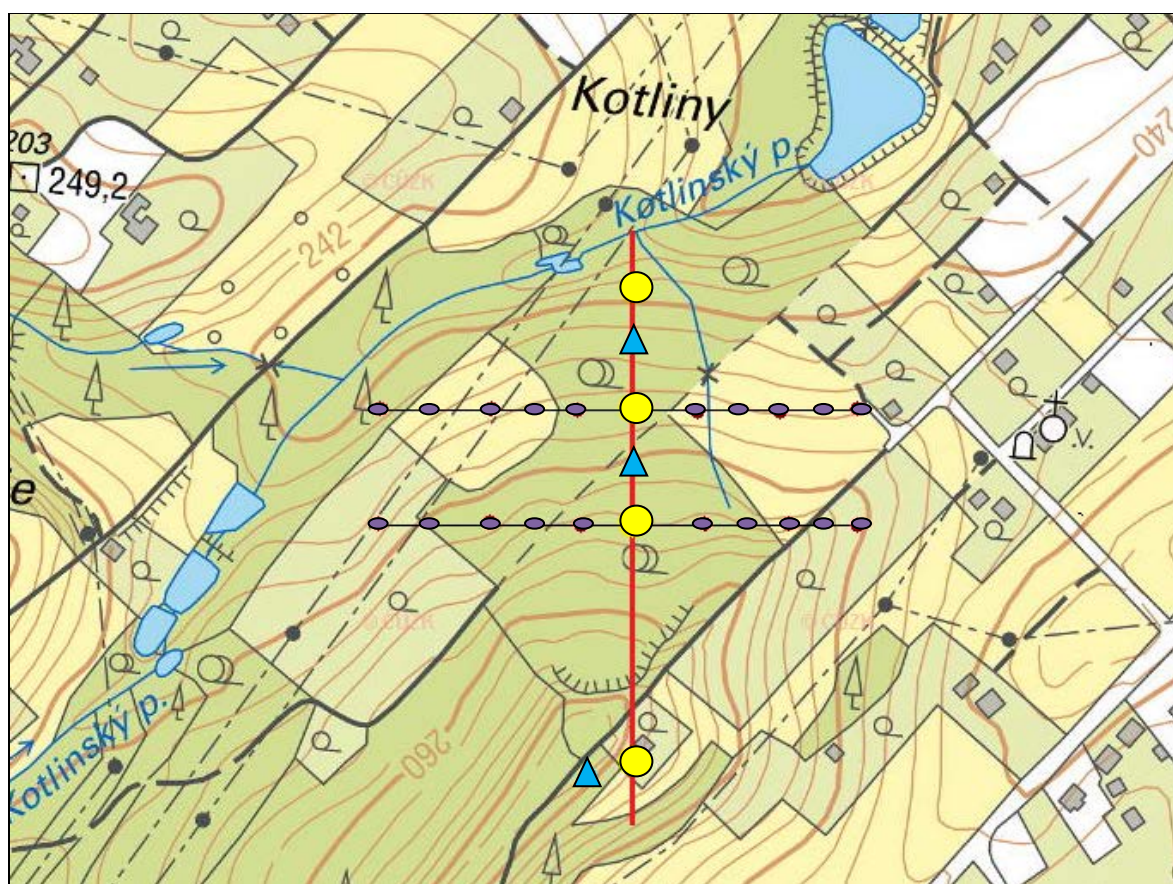
Jednou ze spolehlivých metod je prosté makroskopické pozorování, kterým je možno zaznamenat veškeré indikace svahových deformací – trhliny, nespojitosti, změny morfologie, zamokření, změny ve vegetaci či ohýbání dřevin. Pro přesné zaznamenání výškových změn, posouzení rozvoje trhlin a vynesení do mapy se využívá geodetické zaměření pomocí totálních stanic nebo skenerů.

Pro kontrolní sledování vodorovných pohybů uvnitř svahu, navrhuji zbudovat čtyři vrty v ose řezu pro inklinometrické měření. Jeden z nich je vhodné umístit za odlučnou hranu, aby bylo možné sledovat, zda se svahové deformace dále rozšiřují. Dva další vrty se umístí do těla sesuvu a poslední sonda do čela (Obrázek 36). Měření se provádí ve speciálně vystrojených vrtech, které jsou uvnitř opatřeny drážkovanými měřicími pažnicemi pro náklonoměrnou sondu. Zmiňované vrty navrhuji do hloubky 15 metrů, aby zastihly hloubku a průběh stávající smykové plochy, případně zaznamenaly výskyt dalších smykových ploch.

Pro sledování hladiny podzemní vody v zájmovém území je vhodné vystrojit 3 pozorovací hydrogeologické objekty. Sondy budou o průměru 120 mm a budou vystrojeny perforovanou zárubnicí do hloubky 15 m. Výstroj bude ukončena cca 0,5 m nad terénem a uzavřena uzamykatelným poklopem. Měření bude prováděno hladinoměrem v intervalu 1x měsíčně. Předpokládané situování indikačních sond je zakresleno na obrázku 36. Hydrogeologické vrty doporučuji ponechat i po provedení sanačních opatření, aby bylo možné zkontrolovat, zda je navržený systém účinný.

Kolmo na stávající řez navrhuji v těle svahu zbudovat dvě linie geodeticky zaměřených stabilizačních bodů pro monitoring svislých a vodorovných svahových deformací v těle sesuvu. Bodů navrhuji celkem 20, v každé linii 10. Výškové body mohou být stabilizovány různými způsoby – ve formě železných svorníků zabetonovaných v zemi nebo pomocí hřebů zaražených do betonového základu, případně jiným alternativním způsobem. Rozložení bodů je orientačně zachyceno v obrázku 36. Tyto body budou průběžně zaměřovány a sledovány pomocí GPS systému. Každý ze zaměřovaných bodů je za účelem dohledání v terénu nutné pečlivě zdokumentovat (GPS souřadnice, fotografie a textový popis) a zaevidovat.

V rámci doplňujících monitorovacích prací navrhuji letecký průzkum za použití bezpilotního leteckého prostředku tzv. dronu. Na základě naměřených dat bude možné monitorovat deformace terénu případně vytvořit 3D model krajiny. Vzhledem k výskytu náletových stromů a keřů nemusí být data úplně ideální.



Obrázek 36: Orientační návrh geotechnického monitoringu (upraveno) [26].

Legenda k obrázku 36:

- Inklinometrický vrt
- ▲ Hydrogeologický vrt
- Měřičské body
- Linie řezu

9. Závěr

V práci jsou v prvních kapitolách uvedeny informace o obecné problematice stability svahu, konkrétně o příčinách a klasifikaci svahových pohybů, sanacích a geotechnickém monitoringu svahů. Jedna z kapitol je také věnována obecným metodám řešení stability svahů.

Cílem této diplomové práce bylo posouzení stability svahu Vrchovec v Doubravě u Orlové. Při zpracovávání práce byla provedena rekognoskace terénu. Přitom byl kladen důraz především na liniová díla, sloupy elektrického vedení a vzrostlou vegetaci. Do několika kapitol byly shrnuty podrobné informace o geologii, hydrogeologii, klimatických podmínkách i celkové prozkoumanosti dané lokality. Důležitou součástí bylo prostudování archivních vrtů a zpráv, z nichž byl vytvořen předpokládaný geologický řez celým svahem. Z následného geologického řezu a vstupních parametrů, byl zpracován matematický model ve výpočtovém softwaru Plaxis 2D. Při modelování byly navrženy tři varianty s různou výškou hladiny podzemní vody, aby bylo vysledováno, zda se mění vlastnosti zemin ve svahu. Vzhledem k nízkému stupni stability, byly navrženy různé druhy sanačních metod.

Jednou z možností je odvodnění pomocí horizontálních vrtů a záchytných žeber. Horizontální odvodňovací vrty jsou navrženy ze dvou vrtných hnízd tak, aby snížily pórové tlaky v čele sesuvu. Žebra jsou navržena podél Kotlínského potoka, který lemuje patu svahu. Další variantou je zbudování pilotové stěny případně v kombinaci s přítěžovací lavicí. Z dosažených výsledků je zřejmé, že pouze odvodnění nebude dostačující, proto by bylo ideální zkombinovat tento druh sanace s pilotovou stěnou. Vzhledem k finanční i technologické náročnosti všech řešení se jako nejlepší varianta jeví tzv. „nulová“, kdy se sesuv ponechá ve stávajících podmínkách. Při tomto řešení by bylo vhodné svah alespoň sledovat pomocí geotechnického monitoringu. Sledování pohybu a smykové plochy by se provedlo pomocí inklinometrického měření a pevných stabilizovaných bodů. Pro přesný návrh sanačních opatření je nutné celou oblast důkladně prozkoumat a sledovat.

Seznam literatury

- [1.] NĚMČOK, Arnold. *Zosuvy v Slovenských Karpatoch*. Bratislava: Veda, 1982.
- [2.] ZÁRUBA, Quido a Vojtěch MENCL. *Inženýrská geologie*. Praha: Československá akademie věd, 1974.
- [3.] ZÁKLADNÍ POJMY: DEFINICE. Nemeton 2015 - zemní sesuvy [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.zemnisesuvy.cz/cs/zakladni-pojmy>
- [4.] ZÁRUBA, Quido a Vojtěch MENCL. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. Praha: Academia, 1969
- [5.] KYCL, P. *Základní pojmy a klasifikace* [online]. 2009 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/svahovenestability/pojmy>
- [6.] PASEKA, A., H. JANKŮ, A. ERBENOVÁ, H. BRDEČKOVÁ, F. HUBATKA a J. FROLKA. *Svahové pohyby*. Brno: Oktaedr, 2014. ISBN 978-80-214-4954-1.
- [7.] ŠIMEK, Jiří, JESENÁK, Ján, EICHLER, Jaroslav, VANÍČEK, Ivan: *Mechanika zemin*. SNTL Praha 1990. ISBN:80-03-00428-4.
- [8.] HORIZONTÁLNÍ ODVODŇOVACÍ VRTY. KELLER – speciální zakládání, spol. s.r.o. [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://www.kellergrundbau.cz/technologie/horizontalni-odvodnovaci-vrty/>
- [9.] POKORNÁ, Alena. *Výstavba opěrné zdi v obci Bedrč* [online]. 9.7.2015 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://www.benesov-city.cz/vystavba-operne-zdi-v-obci-bedrc/d-32527>
- [10.] Speciální práce - sanace skalních masívů. *Durovertical* [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://durovertical.cz/specialni-prace-sanace-skalnich-masivu/>
- [11.] KOKOSOVÁ GEOTEXTILIE PRO ZPEVNĚNÍ SVAHŮ. *Geomall* [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://www.geomall.cz/kokosova-geotextilie-pro-zpevneni-svahu-geomanet-k-eko>
- [12.] Regionální pracoviště Správa CHKO České středohoří: Fotogalerie CHKO České středohoří [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://ceskestredohori.ochranaprirody.cz/fotogalerie/lesy/>
- [13.] ZÁRUBA, Quido a Vojtěch MENCL. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. Vydání 2. Praha: Academia, 1987.

- [14.] HRUBEŠOVÁ, Eva. *Geotechnický monitoring - učební texty, přednášky Monitoring zeminových svahů* [online]. 2012 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.geotechnici.cz/wpcontent/uploads/2012/08/kapitola16.pdf>
- [15.] MARSCHALKO, M., J. MÜLLEROVÁ a D. IDEŠ. *Svahové deformace - výukové multimediální texty* [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/svadef/Text/6_monitoring.htm
- [16.] HRUBEŠOVÁ, Eva. 8. *Monitoring smykových ploch* [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/hrubeso/mon8.htm>
- [17.] Vyhledat kapitola 3, 3.1
- [18.] NOVOTNÝ, Jan. *DYNAMICKÁ INŽENÝRSKÁ GEOLOGIE: pomůcka k výuce* [online]. In: . 2009 [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: http://labmz1.natur.cuni.cz/~bhc/s/uig/uig_dynamickaIG_pomucka_ke_studiu.pdf
- [19.] ZÁRUBA, Quido a Vojtěch MENCL. *Inženýrská geologie. 3. dopl. vyd.* Praha: Academia, 1974.
- [20.] HRUBEŠOVÁ, Eva. *Geotechnický monitoring - učební texty, přednášky Monitoring pórových tlaků* [online]. 2012 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.geotechnici.cz/wpcontent/uploads/2012/08/kapitola10.pdf>
- [21.] HRUBEŠOVÁ, Eva. *Geotechnický monitoring - učební texty, přednášky Monitoring proudění vody* [online]. 2012 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.geotechnici.cz/wpcontent/uploads/2012/08/kapitola11.pdf>
- [22.] MYSLIVEC, Alois, Ján JESENÁK a Jaroslav EICHLER. *Mechanika zemin.* Praha: SNTL, 1970. Řada stavební literatury.
- [23.] HRUBEŠOVÁ, Eva. *Modelování v geotechnice - Princip metody mezní rovnováhy - prezentace pro výuku předmětu Modelování v geotechnice* [online]. 2012 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/05-metody-mezni-rovnovahy.pdf>
- [24.] MARSCHALKO, M., J. MÜLLEROVÁ a D. IDEŠ. *Svahové deformace - výukové multimediální texty* [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/svadef/Text/6_monitoring.htm
- [25.] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2018-03-2]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [26.] *Geology.cz* [online]. [cit. 2018-03-2]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz>
- [27.] HANŽL, P., Z. KREJČÍ a R. TOMAS. *Vesmír* [online]. Klárov 3, 118 21 Praha, 2009, (10) [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2009/cislo-10/geologicke-mapy-od-papiru-k-informacnimu-systemu.html>

- [28.] Historie geologického mapování území ČR. *Geology.cz* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/archiv/historie-mapovani>
- [29.] *Geoportal ČÚZK* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://lms.cuzk.cz/lms/lms_prehl_05.html
- [30.] *HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=HVMAP_MAIN&IFRAME=0&lon=15.4871695&lat=49.7692482&scale=1935360
- [31.] QUITT, Evžen. *Klimatické oblasti Československa*. Praha: Academia, 1971. *Studia geographica*, 16.
- [32.] ČSN EN1998-1 EUROKÓD 8. *Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [33.] DOPITA, Miloslav. *Geologie české části hornoslezské pánve*. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 1997. ISBN 80-7212-011-5.
- [34.] PLAXIS 2D. *Plaxis.com* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.plaxis.com/product/plaxis-2d/>
- [35.] HRUBEŠOVÁ, Eva. *Modelování v geotechnice – Metoda konečných prvků - prezentace pro výuku předmětu Modelování v geotechnice* [online]. 2012 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/06-metoda-konecnych-prvku.pdf>
- [36.] SOLAŘ, Jaroslav. *Poruchy a rekonstrukce zděných staveb*. Praha: Grada Publishing, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2672-4.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Hlavní části sesuvu [18].....	3
Obrázek 2: Povrchové odvodnění svahu [8].....	11
Obrázek 3: Horizontální odvodňovací vrty [8].....	12
Obrázek 4: Výstavba opěrné gabionové zdi [9].	13
Obrázek 5: Kotvení skalního svahu pomocí kotevních tyčí [10].	14
Obrázek 6: Zpevnění svahu pomocí kokosové geotextilie [11].	15
Obrázek 7: Zpevnění svahu lesním porostem [12].....	16
Obrázek 8: Schéma inklinometrického měření [16].....	19
Obrázek 9: Grafické znázornění - svahem neprosakuje voda [23].....	24
Obrázek 10: Grafické znázornění - voda prosakuje pod obecným úhlem [23].	24
Obrázek 11: Letecký snímek s vyznačením zájmové oblasti a směru sesouvání (upraveno) [25].	27
Obrázek 12: Vrtná prozkoumanost v dané oblasti [26].....	29
Obrázek 13: Rukopisná mapa v měřítku 1 : 28 800 z druhé poloviny 19. stol. (upraveno) [26].	30
Obrázek 14: Mapa Království českého v měřítku 1 : 444 000 (upraveno) [26]....	30
Obrázek 15: Letecká mapa zájmové lokality z roku 1954 [29].....	31
Obrázek 16: Letecká mapa zájmové lokality z roku 2003 (upraveno) [29].	32
Obrázek 17: Aktuální letecký snímek zájmové lokality (upraveno) [29].....	32
Obrázek 18: Výřez z geologické mapy 1:500 000 (upraveno) [26].	34
Obrázek 19: Mapa klimatických oblastí ČR dle Quitta [31].....	35
Obrázek 20: Mapa poddolovaných území (upraveno) [26].....	37
Obrázek 21: Mapa svahových nestabilit v okolí Doubravy [26].....	38
Obrázek 22: Mapa svahových nestabilit [26].....	39
Obrázek 23: Digitální model reliéfu 5G (upraveno) [26].....	41
Obrázek 24: Vlevo: Vozovka porušená sesuvem. Vpravo: Výrazná trhлина na vozovce.	42
Obrázek 25: Vychýlení sloupu v důsledku sesuvu.	43
Obrázek 26: Komunikace postižená sesuvem v patě svahu.	44

Obrázek 27: Umístění charakteristického řezu a vyznačení archivní sond (upraveno) [26].	46
Obrázek 28: Schématický geologický řez.	47
Obrázek 29: Smyková plocha - stávající stav HPV, stupeň stability 1,008.	50
Obrázek 30: Smyková plocha - zvýšená hladina podzemní vody, stupeň stability 0,957.	51
Obrázek 31: Smyková plocha - snížená hladina podzemní vody, stupeň stability 1,019.	52
Obrázek 32: Návrh odvodňovacích vrtů a vrtných hnízd (upraveno) [26].	53
Obrázek 33: Návrh 20 odvodňovacích žebor (upraveno) [26].	54
Obrázek 34: Řez záchytným žebrem.	55
Obrázek 35: Varianty umístění pilotové stěny.	56
Obrázek 36: Orientační návrh geotechnického monitoringu (upraveno) [26].	59

Seznam tabulek

Tabulka 1: Klasifikační schéma svahových pohybů – ploužení (upraveno) [6].	6
Tabulka 2: Klasifikační schéma svahových pohybů – sesouvání (upraveno) [6]. ..	7
Tabulka 3: Klasifikační schéma svahových pohybů – stékání (upraveno) [6].	8
Tabulka 4: Klasifikační schéma svahových pohybů – řízení (upraveno) [6].	9
Tabulka 5: Klimatické charakteristiky oblasti W2 [31].	36
Tabulka 6: Geotechnické charakteristiky jílu horní vrstvy.	48
Tabulka 7: Geotechnické charakteristiky miocénních jílu spodní vrstvy.	48

Seznam příloh

Příloha č. 1

Příloha č. 1

Geologický profil

Akce: ORLOVÁ - sesuv Vrchovec

Doba vrtání: březen 1991

Souprava: H - 50

Vrt č.: SV-1

Prováděcí závod: UNIGEO s.p.

Nadm. výška: 271,64 m.n.m.

Hloubka(m) M: 1:100	Zeminy a horniny graficky	Odběr vzorků	Hladina podz. vody	Třída ČSN 73 1001	Těžitel ČSN 73 3050	Pojmenování a popis zemin a hornin ČSN 72 1001
1				F 5 (MI-Y)	3	0,0 - 0,7 m Jílovitá hlína černohnědá, humózní s kořenovými zbytky, časté úlomky cihel a zdiva. Navážky
2		PP		F 4 (CS)	3	
3		N		S 2 (SP)	3	0,70 - 1,2 m Jíl slabě písčité šedý, rezavě smouhovaný, plastický, tuhý. Glacigenní
4				F 8 (CH)	3	
5		PP		F 8 (CH)	4	1,20 - 2,2 m Písek hrubozrný, špatně vytríděný, šedožlutý, tvořený val. převážně nordických materiálů a SiO ₂ . Max. vel. val. 7 cm. Glacigenní
6						2,20 - 3,0 m Jíl nazelenale šedý silně rezavě smouhovaný (prachovité až písčité laminky), silně plastický, tuhý, nevápnitý resp. odvápněný - rozložený miocen. Eluvium
7				F 6 (CI)	4	
8						3,00 - 5,0 m Jíl, místy až jílovec se střípkovitým rozpadem, nazelenale šedý s ojedinělými rezavými smouhami, pevný, vápnitý. Navětralý miocen
9						
10			10,1			5,00 - 15,0 m Jílovec pevný, nazelenale šedý, střípkovitě rozpadavý, silně vápnitý. Rostlý, zdravý miocen.
11						
12						
13						
14						
15						



hladina podzemní vody

ustálená: m 10,10

m.n.m. 261,54

naražená: m -

m.n.m. -



N neporušený vzorek



PP porušený vzorek s původní vlhkostí



P porušený vzorek

Geologický profil

Akce: ORLOVÁ - sesuv Vrchovec

Doba vrtání: duben 1991

Souprava: ruční spirálový vrták

Vrt č.: SV-2

Prováděcí závod: UNIGEO s.p.

Nadm. výška: 258,71 m.n.m.

Hloubka(m) M: 1:100	Zeminy a horniny graficky	Odběr vzorků	Hladina podz. vody	Třída ČSN 73 1001	Těžiště ČSN 73 3050	Pojmenování a popis zemin a hornin ČSN 72 1001
1		P		F4 (CS)	3	0,00 - 0,80 m Jíl silně písčitý, středně hnědý, plastický, tuhý, s hoj. val. SiO ₂ a nordických mat., v hl. 0,6 m val. červené žuly Ø 7 cm. Časté kořenové zbytky. Sesuv
2		PP	2,29	F8 (CH)	3	
3		P		F8(CH)	3	0,80 - 1,00 m Jíl žlutohnědý silně plastický, tuhý, s val. do 3 cm převážně SiO ₂ a hojnými zčernalými zbytky rostlinné hmoty. Sesuv
4				F8 (CH)	3	
5		PP	4,0	F8(CH)	3	1,00 - 2,50 m Jíl šedozelené barvy, rezavě smouhovaný a skvrnitý silně plastický, tuhý, místy silně vápnitý. K bázi s útržky a střípky zvětralého jílovce, šedozeleného, silně vápnitého. Hojně zčernalé zbytky rostl. hmoty. Sesuv
6				F6 (CI)	3	
7				F6 (CI)	4	2,50 - 2,90 m Jíl modrozelenošedé barvy, silně plastický, tuhý s drobnými val. do 5 mm SiO ₂ a nord. mat. Sesuv
8						2,90 - 3,60 m Dito 1,0 - 2,5 m. U stropu útržky a smouhy jílu modrozelenošedé barvy. Sesuv
9						3,60 - 3,90 m Jílovec nazelenale šedý, rezavě smouhovaný, pevný, silně vápnitý, střípkovitě rozpadavý. Zvětralý miocen
10						3,90 - 4,30 m Jílovec nazelenale šedý, pevný, silně vápnitý, střípkovitě rozpadavý. Miocen
11						4,30 - 5,0 m Jíl, nazelenale šedý, měkký, silně plastický. Eluvium
12						5,00 - 8,00 m Jíl nazelenale šedý, tuhý, od. hl. 5,50 pevný, charakter jílovce, silně vápnitý. Miocen
13						
14						
15						

ustálená: m 2,29 m.n.m. 256,42

 naražená: m 4,00 m.n.m. 254,71

N neporušený vzorek

PP porušený vzorek s původní vlhkostí

P porušený vzorek

Geologický profil 254/15-441

585

Akce: ORLOVÁ - sesuv Vrchovec
Doba vrtání: březen 1991
Souprava: H - 50

Vrt č.: SV-10
Prováděcí závod: UNIGEO s.p.
Nadm. výška: 240,58 m.n.m.

Hloubka(m) M. 1:100	Zeminy a horniny graficky	Odběr vzorků	Hladina podz. vody	Trída CSN 73 1001	Těžitel CSN 73 3050	Pojmenování a popis zemin a hornin ČSN 72 1001
1				F5(MD) 2		0,0 - 0,30 m Hlína černohnědá, silně jílovitá, tuhá, humózní s hojnými kořenovými zbytky rostlin. Humózní hlíny
2				F8 (CH)	3	0,30 - 3,60 m Jíl dkrově hnědý promísený útržky jílu nazelenalého slabě vápnitého. Tuhý plastický, s oj. dokonale opracovanými val. SiO ₂ do 2 cm. Hojné zbytky rostlin a dřevní hmoty tmavě hnědé barvy. Sesuv.
3						
4						
5		N		F6 (CI)	3	3,6 - 6,60 m Jíl zelenošedý s útržky jílu dkrových a zelenohnědých (až jílovec se střípkovitým rozpadem), silně plastický, tuhý, místy silně vápnitý s hojnými zbytky rostlinné a dřevité hmoty hnědé barvy. Sesuv.
6						
7				F6 (CI)	4	6,6 - 7,50 m Jíl nazelenalehnědý, tuhý, silně plastický, s hoj. zbytky rostlinné a dřevní hmoty, s hnízdami a vlnitostmi hrubozrnného písku šedohnědé barvy a val. SiO ₂ . V hl. 6,7 m výrazná chlazová plocha. Sesuv
8		N	8,66	F6 (CI)	4	7,5 - 10,0 m Jíl nazelenale šedý až hnědý, tuhý, silně plastický, s oj. val. SiO ₂ a hoj. rost. a dřevitými zbytky. Sesuv
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						



hladina podzemní vody

ustálená: m 8,66 m.n.m. 232,08

naražená: m - m.n.m. -



N neporušený vzorek



PP porušený vzorek s původní vlhkostí

Geologický profil 254/15-441

592

Akce: ORLOVÁ - sesuv Vrchovec
 Doba vrtání: březen 1991
 Souprava: H - 50

Vrt č.: SV-19
 Prováděcí závod: UNIGEO s.p.
 Nadm. výška: 246,42 m.n.m.

Hloubka(m) M: 1: 100	Zeminy a horniny graficky	Odběr vzorků	Hladina podz. vody	Trída ČSN 73 1001 Těžitel ČSN 73 3050	Pojmenování a popis zemin a hornin ČSN 72 1001
1				FSML-2	0,0 - 0,10 m Hlína travěměšá, jílovitá, humózní, s kořenovými zbytky rostlin
2		PP	2,0	F8 (CH)	3
3					0,1 - 3,50 m Jíl šedý namodralý, prohmětený jíly rezavé a okrové barvy, tuhý až měkký, silně plastický, s hoj. zčernalými rostl. zbytky. Sesuv
4		PP		F8 (CH)	3
5				F8 (CH)	3
6					3,5 - 4,20 m Jíl nazelenale šedý, rezavě smouhovaný, tuhý, silně vápnitý, silně plastický. Eluvium
7		PP			4,2 - 5,20 m Jíl až jílovec nazelenale šedý, tuhý až pevný, se střípkovitou odlučností, silně vápnitý. Miocen
8				F8 (CH)	3
9					5,2 - 7,20 m Otto 3,50 - 4,20 m. Eluvium
10					7,2 - 10,0 m Otto 4,20 - 5,20. Miocen
11					
12					
13					
14					
15					

ustálená: m 2,00 m.n.m. 244,42
 naražená: m 8,00 m.n.m. 238,42

! N neporušený vzorek

PP porušený vzorek s původní vlhkostí

! P porušený vzorek